

# EVALUERING BØLGEKRAFT

## DEL II

Desember 1981







# FORORD

Rapporten "Evaluering bølgekraft - del I" forelå i september 1981. Det fremgår av innledningen til rapporten at oppdraget om å foreta en evaluering av de tre norske bølgekraftprosjektene ble gitt NVE fra Olje- og energidepartementet omkring årskiftet 1980/81. Som rådgivere for både NVE og OED i denne sak oppnevnte OED en styringskomite bestående av:

Dir. Håvard Berge (formann), Norges hydrodynamiske laboratorier

Overing. Ole B. Kvamme, Norges Sjøkartverk (repr. for Miljøverndept.)

Fiskerikonsulent Bjørn Johnsen, Fiskeridirektoratet (repr. for Fiskeridept.)

Sjefing. Per Storebø, NVE

Både del I og del II fremstår som resultatet av styringskomiteens arbeid og den arbeidsform som i den innledende fase ble valgt. Etter at rapportens del I og del II nå er ferdig fra komiteen, vil den bli oversendt OED som oppdragsgiver og til NVE for endelig behandling.

Styringskomiteen har delt arbeidet på følgende måte:

Håvard Berge har vært ansvarlig for å skaffe tilveie materiale om bølgenes fysikk, bølgedata og produksjonsberegninger.

Ole B. Kvamme har vært ansvarlig for å få bedømt miljø- og samfunnsmessige forhold.

Bjørn Johnsen har vært ansvarlig for å få vurdert konflikter med fiske og skipsfart.

Per Storebø har vært ansvarlig for den teknisk/økonomiske vurdering.

Kvaerner Engineering A.S har også for rapportens del II hatt et hovedansvar for å få utredet marinteknologiske forhold.

Rapporten "Evaluering bølgekraft - del I" tar utgangspunkt i prosjektenes status ved begynnelsen av 1981.



Det er der gjort grundig rede for de tre konseptens prinsipielle virkemåte. Videre er det gjort rede for grunnleggende forhold ved beregninger av tilgjengelig energi, den teknisk/økonomiske vurdering, produksjonsberegningene og miljø- og samfunnsmessige forhold. Rapportens del II bygger på del I. For å få en riktig forståelse av det utførte evalueringsarbeidet må derfor begge delrapporter sees i sammenheng.

Nærværende rapport, del II, må oppfattes som en oppdatering av status for de norske bølgekraftkonseptene, samt at en har sett disse i relasjon til et av de mest lovende britiske konseptene.

Styringskomiteen har, på samme måte som for del I, valgt å redigere rapporten slik at hovedbidragene er satt inn uten endringer. Komiteen har ikke foretatt selvstendige vurderinger av hovedbidragene. Konklusjonene bygger direkte på bidragsyternes egne vurderinger.

De kommentarer som er kommet fra prosjekttnehaverne er blitt vurdert av bidragsytene og i behørig utstrekning blitt tatt hensyn til.

Rapporten viser en betydelig forbedring av konseptene i løpet av det ca. halve året som er gått siden rapportens del I forelå.

Såvidt komiteen har oversikt over, kan prosjekttnehaverne idag ikke angi løsninger som radikalt vil forbedre økonomien, bortsett fra muligheten for gevinster ved masseproduksjon.

Komiteens medlem Bjørn Johnsen har pga. sykdom ikke kunnet delta i avslutningsfasen og dermed heller ikke under utarbeidelsen av kap. 1 sammendrag og konklusjoner.

Også for rapportens del II har overing. Jan Kristiansen, NVE, fungert som styringskomiteens sekretær, og konsulent Eva Paaske som OED's observatør på møtene.

Oslo 15.12.81

Håvard Berge (formann)

Per Storebø

Ole B. Kvamme

Bjørn Johnsen

#### BIDRAGSYTERE TIL RAPPORTEN

I tillegg til styringskomiteens ansvarsområde har en innhentet følgende bidrag til rapporten:

Kap. 2	fra Bølgedataprojektet v/siv.ing. K. Torsethaugen, NHL
Kap. 3 pkt. 1	fra NTH
Kap. 3 pkt. 3	fra KB
Kap. 3 pkt. 4	fra Kvaerner Engineering A/S
Kap. 4 pkt. 1-2	fra Kvaerner Engineering A/S
Kap. 4 pkt. 3	fra Ingeniør A.B. Berdal A/S i samarbeid med Ing. Thor Furuholmen A/S og siv.ing. Nybro Hansen
Kap. 5	fra siv.ing. O. Malmo, NHL
Kap. 6 pkt. 1	fra Kystdirektoratet
Kap. 6 pkt. 2	fra Fiskeridirektoratet



# BIDRAGSYTERE TIL RAPPORTEN

I forbindelse med arbeidet med rapporten har det vært en rekke møter med de ulike bidragsyterne. Disse møtene har hatt til hensikt å klargjøre opplysningene som er nødvendige for å kunne gjennomføre undersøkelsen. De ulike bidragsyterne har gitt en rekke gode råd og tips som har vært av stor nytte for arbeidet.

Kap. 1 pkt. 1-2 fra Kvaerner Engineering A/S  
Kap. 1 pkt. 3-4 fra Kvaerner Engineering A/S  
Kap. 1 pkt. 5-6 fra Kvaerner Engineering A/S

Kap. 2 pkt. 1-2 fra Kvaerner Engineering A/S  
Kap. 2 pkt. 3-4 fra Kvaerner Engineering A/S  
Kap. 2 pkt. 5-6 fra Kvaerner Engineering A/S

Kap. 3 pkt. 1-2 fra Kvaerner Engineering A/S  
Kap. 3 pkt. 3-4 fra Kvaerner Engineering A/S  
Kap. 3 pkt. 5-6 fra Kvaerner Engineering A/S

Kap. 4 pkt. 1-2 fra Kvaerner Engineering A/S  
Kap. 4 pkt. 3-4 fra Kvaerner Engineering A/S  
Kap. 4 pkt. 5-6 fra Kvaerner Engineering A/S

Kap. 5 pkt. 1-2 fra Kvaerner Engineering A/S  
Kap. 5 pkt. 3-4 fra Kvaerner Engineering A/S  
Kap. 5 pkt. 5-6 fra Kvaerner Engineering A/S

Kap. 6 pkt. 1-2 fra Kvaerner Engineering A/S  
Kap. 6 pkt. 3-4 fra Kvaerner Engineering A/S  
Kap. 6 pkt. 5-6 fra Kvaerner Engineering A/S

Kap. 7 pkt. 1-2 fra Kvaerner Engineering A/S  
Kap. 7 pkt. 3-4 fra Kvaerner Engineering A/S  
Kap. 7 pkt. 5-6 fra Kvaerner Engineering A/S

Bjørn Johnsen

## FORKORTELSER

### Navn:

FHI	= Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt
KB	= Kvaerner Brug A/S
KE	= Kvaerner Engineering A/S
NEL	= National Engineering Laboratories (Glasgow)
NHL	= Norges Hydrodynamiske laboratorier
NTH	= Norges Tekniske Høyskole
NVE	= Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen
SI	= Sentralinstitutt for industriell forskning

### Elektrisk energi:

kWh	= kilowatttime
MWh	= megawatttime (1 MWh = 10 <sup>3</sup> kWh)
GWh	= gigawatttime (1 GWh = 10 <sup>6</sup> kWh)

### Effekt (energi pr. sekund):

W	= watt
kW	= kilowatt (1 kW = 1 000 W)
MW	= megawatt (1 MW = 1 000 kW)



## INNHOUDSFORTEGNELSE

		Side
	Innledning	3
	Bidragstyttere til rapporten	5
	Forkortelser	7
1	SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	11
2	BØLGEDATA - VURDERING AV DATAMATERIALET	15
2.1	Midlere energiflukt	16
2.2	Avskjerming fra land	17
2.3	Energien fordeling på bølgeperiode	17
2.4	Retningsfordeling	18
3	EVALUERTE BØLGEKRAFTKONSEPTER	21
3.1	Bøyekraftverk av typen "N2"	21
3.2	Fokuseringskraftverk	27
3.3	Svingende vannsøyle - KB	29
3.4	Svingende vannsøyle - NEL	33
4	TEKNISK/ØKONOMISK VURDERING AV KONSEPTENE	39
4.1	Teknisk vurdering	40
4.1.1	Bygging og installasjon	40
4.1.2	Drift og vedlikehold	41
4.2	Kostnadsvurdering	43
4.2.1	Bygging og installasjon, kostnader	44
4.2.1.1	N2-bøye	44
4.2.1.2	Havbølgeinse	46
4.2.1.3	Svingende vannsøyle - KB	48
4.2.1.4	Svingende vannsøyle - NEL	49
4.2.2	Drift og vedlikehold, kostnader	50
4.2.2.1	N2-bøye	52
4.2.2.2	Havbølgeinse	53
4.2.2.3	Svingende vannsøyle - KB	54
4.2.2.4	Svingende vannsøyle - NEL	55
4.2.3	Sammendrag - kostnadsoversikt	56
4.3	Fokuserende bølgekraft, anlegg på land - alt. daganlegg Fugløy ved Stord	57
4.3.1	Innledning	59
4.3.2	Prosjektets rammebetingelser	60
4.3.3	Oversikt	61
4.3.4	Beskrivelse av anleggets deler	62
4.3.5	Kostnadsoverslag	65
4.3.6	Tidsplan	66



	Side
5 BEREGET ENERGIPRODUKSJON	71
5.1 Energi på målested/beregningssted	73
5.2 Energi på prosjekteringssted	73
5.3 Brutto energioptak	76
5.4 Virkningsgrad	77
5.5 Begrensninger i effektopptak	77
5.6 Reduksjonsfaktorer for produksjonsberegning	79
5.7 Følsomhetsanalyser	82
6 MILJØ- OG SAMFUNNSMESSIGE FORHOLD	89
6.1 Konflikter med skipsfart	89
6.2 Konflikter med fiske	91
6.3 Konflikter med naturvern og fritidsinteresser	93
6.3.1 Konflikter med naturverninteresser	93
6.3.2 Konflikter med fritidsinteresser	95
7 LOKALISERING	97
7.1 Generelt	97
7.2 Bremangerområdet	97
7.2.1 Svingende bøye	97
7.2.2 Svingende vannsøyler - KB og NEL	97
7.2.3 Fokuseringskraftverk - fjellanlegg	98
7.3 Fugløy-området	98
7.3.1 Fokuseringskraftverk - daganlegg	98
7.4 Økonomisk totalvurdering	101
7.4.1 Investeringer	101
7.4.2 Elektrotekniske kostnader	101
7.4.3 Drift og vedlikehold	101
7.4.4 Renter og avgifter	101
7.4.5 Avskrivning	101
7.4.6 Kostnadssammenstilling	102
7.5 Miljø- og samfunnsmessig vurdering	105
7.5.1 Lokaliseringsalternativ Lista	105
7.5.2 Lokaliseringsalternativ Bremangerlandet	106
7.5.3 Lokaliseringsalternativ Vestvågøy	106

## 1 SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

Følgende norske bølgekraftkonsepter er blitt vurdert:

- Svingende bøye (modell N2) (Prosjektinnehaver Institutt for Eksperimentalfysikk, NTH).
- Fokuseringskraftverk (Prosjektinnehaver Sentralinstitutt for Industriell forskning).
- Svingende vannsøyle, modell 2D (A) (Prosjektinnehaver A/S Kvarner Brug). Her betegnet: Svingende vannsøyle - KB.

Dessuten har en vurdert det britiske konseptet:

- Svingende vannsøyle - NEL (Prosjektinnehaver National Engineering laboratories i Glasgow) (Engelsk betegnelse: "NEL Breakwater Type Wave Piston", mod. 1980).

Endringene i evalueringen Del 2 i forhold til Del I:

- Svingende bøye: Ny modell (N2)
- Fokuseringskraftverk: Linselementene utføres i betong. I tillegg til et anlegg der konverteringsenheten og tilløpssystemet sprenges inn i fjell (fjellanlegg) vurderes også en løsning der de nevnte anleggsdeler plasseres på en lav øy og får utforming som kanaler (daganlegg).
- Svingende vannsøyle - KB: Bedre optimalisering.
- Svingende vannsøyle - NEL: Ikke evaluert før.

Evalueringsrapporten Del I ga et klart svar på spørsmålet om lokalisering:

Økonomien er klart best ved lokalisering på nordre Vestland (Bremanger) der energiinnholdet i bølgene er størst.

I Del 2 har en bygget på dette faktum og dermed tatt som utgangspunkt i alle vurderingene at kraftverket er lokalisert til denne del av kysten.

Rapporten er delt i to hoveddeler:

- Teknisk/økonomisk vurdering.
- Miljø- og samfunnsmessig vurdering.



### Teknisk/økonomisk vurdering

Svingende bøye N2 er formet som en kule med diameter på 10 m. Den kan gli opp og ned langs en gjennomgående stang som er forankret til sjøbunnen på ca. 40 m dyp gjennom et universalledd. Nederst er kulen åpen og vannspeilet fungerer som stempel. Bøyen arbeider som en luftpumpe som driver en luftturbine koblet til en generator.

Bygging og installasjon er basert på kjent teknologi, mens konstruksjonens driftspålitelighet grunnet bevegelige deler i sjøatmosfære er bedømt å være usikker og gi høye driftskostnader.

Det er behov for ilandføring av energien gjennom kabler.

Fokuseringskraftverk er bedømt som drifts- og vedlikeholdsvennlig.

Svingende vannsøyle - KB er bedømt å være enkel og relativt drifts- og vedlikeholdsvennlig.

Svingende vannsøyle - NEL er i likhet med KB's konsept en faststående betongkassekonstruksjon. Flere enheter (à 4 celler) kan plasseres i en rekke som danner en molo. Dypet er ca. 18 m. En likerettet luftstrøm driver en luftturbine koblet til en generator. Hver enhet på 4 maskiner har en felles transformator og ilandføring av kraften gjennom kabel.

Bygging av enhetene representerer kjent teknologi mens installasjonen krever et spesialfartøy for forankring med forspente kabler. Konseptet bedømmes å være drifts- og vedlikeholdsvennlig med sitt modulsystem, der alt mekanisk og elektrisk utstyr kan skiftes ut ved å skifte en komplett modul.

### Miljø- og samfunnsmessig vurdering.

Sett under ett må en konkludere med at konflikten mellom naturvern- og fritidsinteresser synes mer alvorlige enn tidligere beskrevet. De skjerpene krav til lokalisering, vil lede til større press på verneverdige områder. Dersom en er i stand til å unngå slike konflikter, vil konsekvensene for naturvern- og fritidsinteressene sannsynligvis fortsatt kunne holdes innenfor akseptable rammer.

Styringskomiteen har ikke funnet grunnlag for å foreta en samfunnsmessig vurdering av de forskjellige konseptene. Dette skyldes i hovedsak konseptenes preg av å være teknisk forskningsprosjekter og en har bare i liten utstrekning hatt oversikt over krav til infrastruktur, produksjonsforhold, behov for arbeidskraft m.v.

### Konklusjon.

Resultatet av vurderingene i rapportens del II viser en radikal forbedring av økonomien av de norske bølgekraftkonseptene i forhold til rapportens del I.

Kostnadene pr. produsert kWh er i middel kalkuert til:

NTH's svingende bøye (N2)	ca. kr. 1,40
SI's fokuseringskraftverk	ca. kr. 1,70
KB's svingende vannsøyle	ca. kr. 1,30

Reduksjonen i kostnadene skyldes hovedsakelig:

- Svingende bøye N2 representerer en helt ny utforming av konseptet.
- Fokuseringsanlegg er prosjektert som daganlegg og fjellanlegg med linseelementer i betong mot før fjellanlegg med linseelementer i stål.
- Svingende vannsøyle - KB er vesentlig bedre optimalisert.

Tross disse forbedringene er kostnadene fortsatt vesentlig høyere enn for konvensjonelle kraftverk.

Kostnadsberegningen av det britiske konseptet svingende vannsøyle - NEL gir en kWh-kostnad på ca. kr. 2,40.

Dette gir grunn til å tro at de norske konseptene hevder seg godt internasjonalt såvidt komiteen kan bedømme.

Våre informasjoner indikerer at våre beregnede kWh-kostnader for NEL-konseptet ligger noe høyere enn hva britene selv er kommet til.

Det må fortsatt understrekes at kostnadsberegningene såvel som bølge- og produksjonsdataene er beheftet med en viss usikkerhet, kfr. pkt. 4.2 og 5.7. Beregningene er imidlertid antatt å ligge på den optimistiske side. Vurderingene er relatert til lokalisering til det nordlige Vestland der bølgeenergien er størst og de spesifikke kostnadene lavest. Relasjonen mellom konseptene vil neppe påvirkes av lokaliseringen sett ut ifra en teknisk/økonomisk vurdering.

Forskellen mellom de beregnede kWh-kostnader er alene ikke av en slik betydning at de kan danne grunnlag for en innbyrdes rangering mellom konseptene.

Etter komiteens oppfatning vil en totalvurdering tilsi følgende rangering mellom de norske konseptene:



1. Svingende vannsøyle - KB har de laveste kWh-kostnadene. Konseptet er robust og driftsvennlig, og en vil kunne finne lokaliseringssteder der konfliktene er moderate.
2. Svingende bøye (N2) har litt høyere beregnet kWh-kostnad. Drifts- og vedlikeholdskostnader er høye. Pga. det store antall produksjonsenheter ansees konseptet som upraktisk og komplisert å holde i drift.
3. Fokuseringskraftverk gir høyeste kWh-kostnader, men konseptet er vurdert å være driftsvennlig. Det er funnet et meget lite antall mulige lokaliseringssteder med den utforming av den landbaserte del av anlegget som her er lagt til grunn. Videre er reaksjonene mot konseptet så store fra fiskere, Fiskeridirektoratet og Kystdirektoratet at konseptet kan bli vanskelig å realisere her i landet.

## 2. BØLGEDATA - VURDERING AV DATAMATERIALET

Vi skal i dette kapitlet se litt nærmere på påliteligheten av hindcast-data. Hindcastdata er bølgedata som er beregnet ut fra målte trykkart. Utsnitt av hindcastmodellens gridnett er vist i fig. 1.

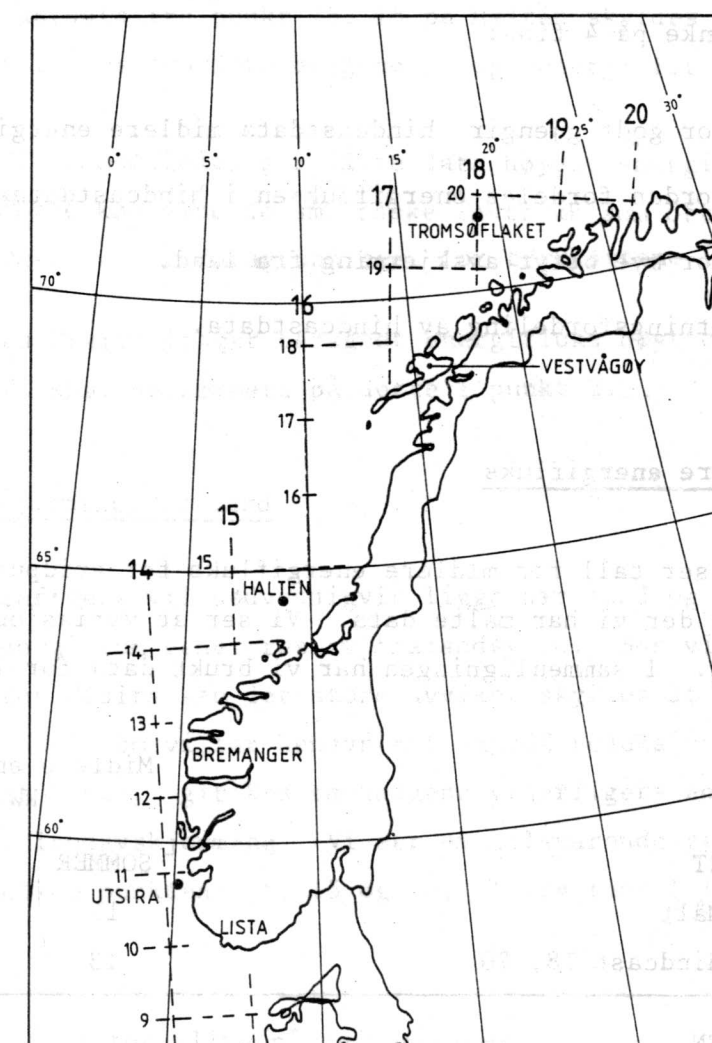


Fig. 1. Posisjon for målte og beregnet data.  
• Målestasjoner (UTSIRA, HALTEN, TROMSØFLAKET)  
Punkter i gridnettet for hindcastmodellen angis med horizontal posisjon først. Eks. Punkt 18, 20 TROMSØFLAKET.



For å fastlegge hvor gode disse beregnede bølgedata er er det utført to typer sammenligninger:

- 1) Sammenligning med målte data / 1/.
  - 2) Bruk av modellen på idealiserte trykksituasjoner / 2/.
- I del 1 / 3/ er resultatene fra disse sammenligningene omtalt.

Vi skal her konsentrere oss om å sammenligne hindcastdata og instrumentelle data med tanke på 4 ting:

- 1) Hvor godt gjengir hindcastdata midlere energifluks på åpent hav?
- 2) Hvordan fordeles energifluksen i hindcastdataene på bølgeperiode.
- 3) Hvor mye betyr avskjerming fra land.
- 4) Retningsfordeling av hindcastdata.

## 2.1. Midlere energifluks

Tabell 1 viser tall for midlere energifluks for gridpunkter som ligger nær punkter der vi har målte data. Vi ser at variasjonene er tildels nokså store. I sammenligningen har vi brukt data for 1977 - 1979.

	Midlere energifluks kW/m	
	SOMMER	VINTER
TROMSØFLAKET		
Målt	15	47
Hindcast 18, 20	13	41
HALTENBANKEN		
Målt	16	44
Hindcast 15, 15	17	55
Hindcast 16, 15	12	41
UTSIRA		
Målt	12	28
Hindcast 14, 11	19	51

Kommentarer: Ved å se på bølgestatistikk for hindcastdata og ved sammenligninger mellom andre bølgemodeller er det grunn til å tro at den norske hindcastmodellen i gjennomsnitt gir noe for høy gjennomsnittlig energifluks. Dette gjelder på åpent hav der værssystemene har stor utstrekning. Avvikene er størst når energifluksen er høy. Vi har ikke sikkert grunnlag for å gi tall for dette avviket, men kan antyde 20%.

- a) Vi har altså valgt å si at avviket mellom målte verdier og hindcastdata fra punkt 15, 15 på Halten skyldes modellens tendens til å overvurdere bølgehøyde og -energi for stormer.
- b) På Tromsøflaket gir målte data høyest energifluks. Årsaken til dette kan være de små raske lavtrykk som ofte forekommer her. Dessuten er datagrunnlaget for trykkartene i nord dårlige.
- c) På Utsira ligger beregnet energifluks høyt over målte verdier. Vi skal se nærmere på dette i punkt 2.2.

## 2.2. Avskjerming fra land.

Et bølgekraftverk vil nødvendigvis ligge nær land og vil ha liten glede av bølgeenergi som genereres av fralandsvind. Ser vi på verdiene i tabell 1 for Utsira kan det store avviket skyldes at bølgemåleren ligger nær land. Selv om vi tar hensyn til en 20% reduksjon i beregnet energifluks nevnt foran, gir Utsira-dataene ytterligere en reduksjon på ca 25% p.g.a. landavskjerming. Vi ser en tilsvarende reduksjon i hindcast-verdier mellom punktene 15, 15 og 16, 15 fra tabell 1.

## 2.3. Energiens fordeling på bølgeperiode

Hindcastmodellen skiller mellom vindsjø og dønning. Forsøk har vist at for spesielle idealiserte situasjoner gir den norske hindcastmodellen bare 20 - 25% av dønningen. For å se hvor mye utslag dette gjør i praksis har vi sammenlignet fordeling på periode av målt og hindcastet energifluks, fig. 2.



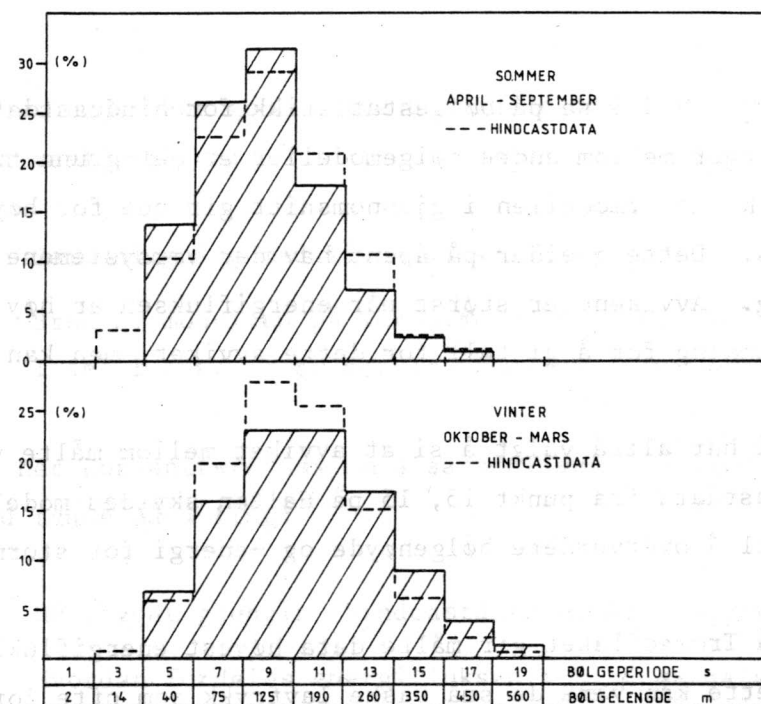


Fig. 2. Energiflукsens fordeling på bølgeperiode.

Middelfigur for alle stasjoner med målinger

I vinterhalvåret ser vi at energiflукsen i bølger med periode over 12 sek. utgjør 31% av totalenergien i målte data og 23% av energien i hindcast-data. I sommerhalvåret er tallene 10% og 13%.

For området 6 - 14 sek. har vi følgende tall:

Vinter: Målt 79% Hindcast 87%

Sommer: Målt 81% Hindcast 82%

Vi ser altså at hindcastdataene undervurderer energien for de mest langperiodiske bølgene, men at energien i dette frekvensområdet utgjør en liten del av totalenergien. Hindcastdataene gir en smalere fordeling enn målte data. Dette skyldes det modelspekteret som brukes.

#### 2.4. Retningsfordeling

Hindcastmodellen gir verdier for bølgenes hovedretning både for vind- og dønning. Måten dønning beregnes på gjør at retningsfordelingen for dønning separat ikke er realistisk og ikke kan brukes. Retningsfordelingen for dønning som er presentert i del 1 / 3 / har derfor liten

verdi. Retningsfordeling for kombinert sjø er vist i fig. 3.

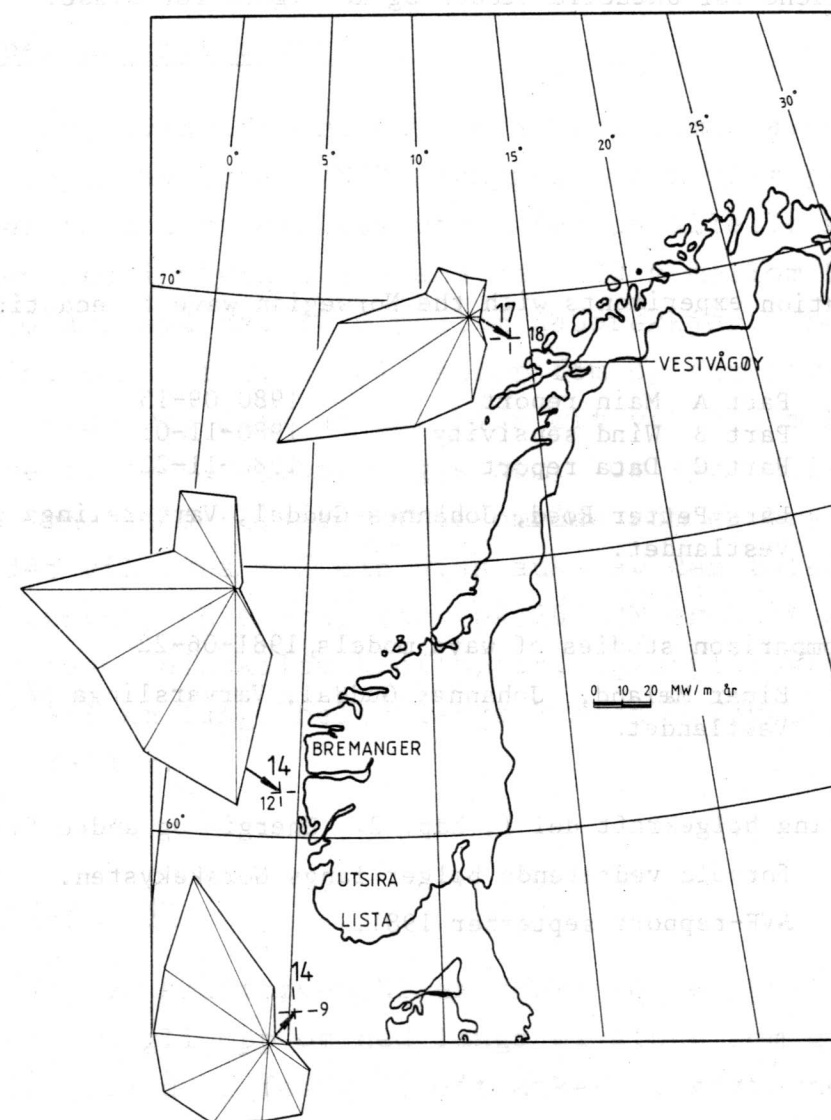


Fig. 3. Retningsfordeling for hindcastdata kombinert sjø. Diagrammet viser total energiflукs for et gjennomsnittsår.

Konklusjon: Det er fortsatt mye usikkerhet forbundet med bruken av hindcastdata, spesielt for punkter nær kysten. Skal en skaffe seg pålitelige bølgedata for kystnære punkter må en måle bølgene. Ved å vurdere målingene mot hindcastdata kan en finne spesifikke svakheter i hindcastdataene for aktuelle steder og korrigere for disse.

#### REFERANSER

##### /1/ Calibration experiments with the Norwegian wave forecasting model.

Part A Main report	1980-09-15
Part B Wind sensitivity	1980-11-01
Part C Data report	1980-11-22

Lars Petter Røed, Johannes Guddal, Værvarslinga på Vestlandet.

##### /2/ Intercomparison studies of wave models, 1981-06-22

Einar Mæland, Johannes Guddal, Værvarslinga på Vestlandet.

##### /3/ Evaluering bølgekraft del 1, kap. 2: Energi- og andre fysiske forhold vedrørende bølger langs Norskekysten. NVE-rapport september 1981.

### 3 EVALUERTE BØLGEKRAFTKONSEPTER

#### 3.1 Bøyekraftverk av typen "N2"

##### Grupper av kraftbøyar

Eit bøyekraftverk kan vera sett saman av ei mengd like kraftbøyar av typen "N2", grupperte som vist på fig. 1. Bøyane er her foreslått utplasserte i fem parallelle rekkjer langs kysten med innbyrdes avstand ca. 120 m mellom bøyane i ei rekkje og med avstand ca. 30 m mellom naborekkjer. Det er ein føremon om ein, som i fig. 1, plasserer fem og fem bøyar i grupper rett bak kvarandre, slik at det blir eit vel 100 m breidt område der mindre farty kan passera gjennom. Om sjøtrafikken krev det, kan det somme stader lagast frie område som er breiare enn 100 m, men det vil føra til ein viss auke av den totale lengda på bøyekraftverket. Eit kraftverk på 200 MW er sett saman av omlag eit halvt tusen einskilte kraftbøyar, og utplassert vil det dekkja eit 10-15 km langt belte langs kysten. Høveleg sjødjupn kan vera 30-50 m.

##### Kraftbøyen N2

Sjølve kraftbøyen N2 er forma som ei kule med diameter 10 m, og han kan gli opp og ned langs ei stong som gjennom eit universalledd er fest til eit anker på sjøbotnen. Sjå fig. 2. Kula er open i nedste delen slik at sjøvatnet står eit stykke opp på innsida. Masse og oppdrift på kula er avpassa slik at ho er halvvegs flytande (med "ekvator" som vassline). Når bøyen svingar opp og ned, vil det bli vekslende trykk i den lufta som er innestengd over det innvendige vassnivået. Bøyen kan difor arbeida som ei luftpumpe der sjøvatnet fungerer som pumpestempel. Lufta blir pumpa gjennom ein luftturbine som driv ein elektrisk generator. Tilbakeslagsventilar syter for at lufta går same vegen gjennom turbinen om det blir blåse luft ut or eller soge





luft inn i rommet over det innvendige vassnivået. Den elektriske kabelen som går frå bøyen og ned til ein samlelabel på sjøbotnen, må vera av ein type som toler mykje bøying. For at bøyen skal ta mest mogleg energi frå bølgljene, er han utstyrt med ein mekanisme som låser bøyen fast til stonga med det same han er svinga ut i høgste eller nedste stilling, og held han fast der til ein bølgedal, respektivt bølgetopp nærmar seg. Det er ein datamaskin som, på grunnlag av bølgemålingar, bestemmer når bøyen skal sleppast laust att. Med ei slik optimal styring av svingerørsla kan vi syta for at bøyen for det meste svingar med ei vertikal slaglengd ca. 6 m trass i at bølgehøgda er mykje mindre mesteparten av tida.

Det må hindrast at stonga med bøyen legg seg for mykje ut frå oppreist stilling slik at bøyen dreg seg av stonga. Her har vi foreslått å løysa dette problemet ved hjelp av eit opprettingslodd som heng i bøyen og glid opp og ned langs stonga langt nede i sjøen. Dette loddet må vegast opp mot tilsvarande meir oppdrift i bøyen. Alternativt kan problemet løysast med fleksible ankerliner i staden for opprettingslodd.

Bøyen er forma som ei kule for di det skal bli minst mogleg bøyepåkjenning på ankerstonga i uver. Kuleforma verkar og inn på å redusera stålmengda, både fordi ei kule blir stiv og sterk p.g.a. den dobbeltkrumme overflata og fordi kuleforma gir lita overflate i forhold til volumet.

#### Samanlikning med kraftbøyen M2

Bøyemomentpåkjenninga på ankerstonga i uver er knapt halvparten i forhold til M2-bøyen. Luftpumpa treng verken pakningar eller endestopparar i N2-bøyen. Medan M2-bøyen må vera fastlåst i svært høge bølgljer, skal N2-bøyen då svinga fritt utan bruk av låsemekanismen. Dette krev at ankerstonga står nokså høgt opp i lufta. Låsemekanismen er lettare tilgjengeleg i N2-bøyen, men han må, i motsetning til i M2-bøyen, arbeida i eit miljø av sjøluft og sjøvatn. Den stålvakta (ca. 100 tonn) som trengst i N2-bøyen med stong er omlag halvparten av den tilsvarande stålvakta i M2-bøyen. Trass i den reduserte stålvakta absorberer



N2-bøyen noko meir energi frå bølgljene enn M2-bøyen. Vi har gått ut frå at begge bøyetypane har omlag same verknadsgraden, (ca. 0,6) for omforming av den absorberte bølgeenergien til elektrisk energi.

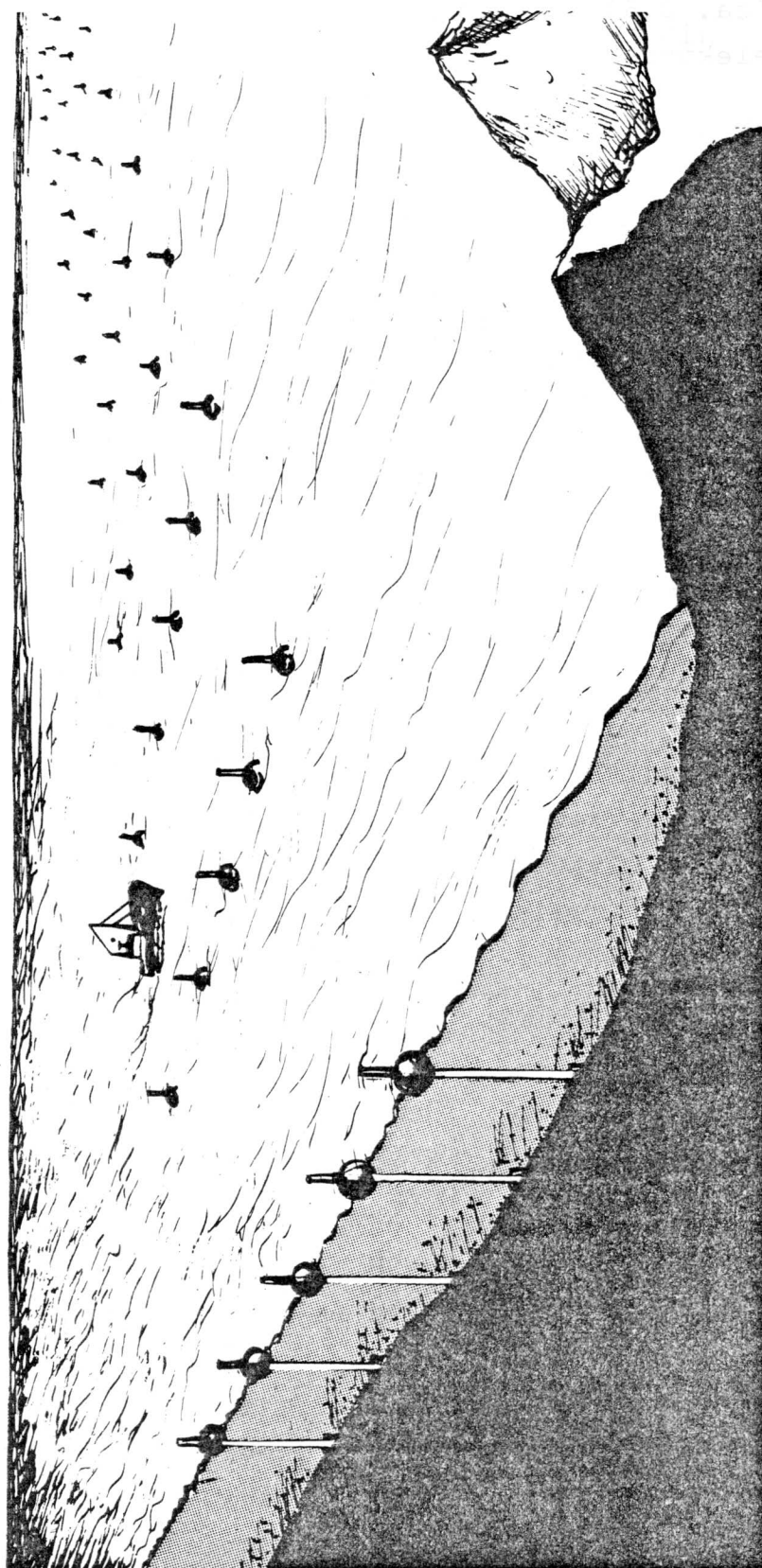
Trondheim 5. oktober 1981

Johannes Falnes

Kjell Budal



Fig. 1. Bøye kraftverk sett saman av kraftbøyar av typen "N2".  
Det er ca. 30 m avstand mellom bøyanane i kvar gruppe på  
5 bøyar. Avstanden mellom gruppene er ca. 120 m.



BØLGEKRAFTBØYE N2

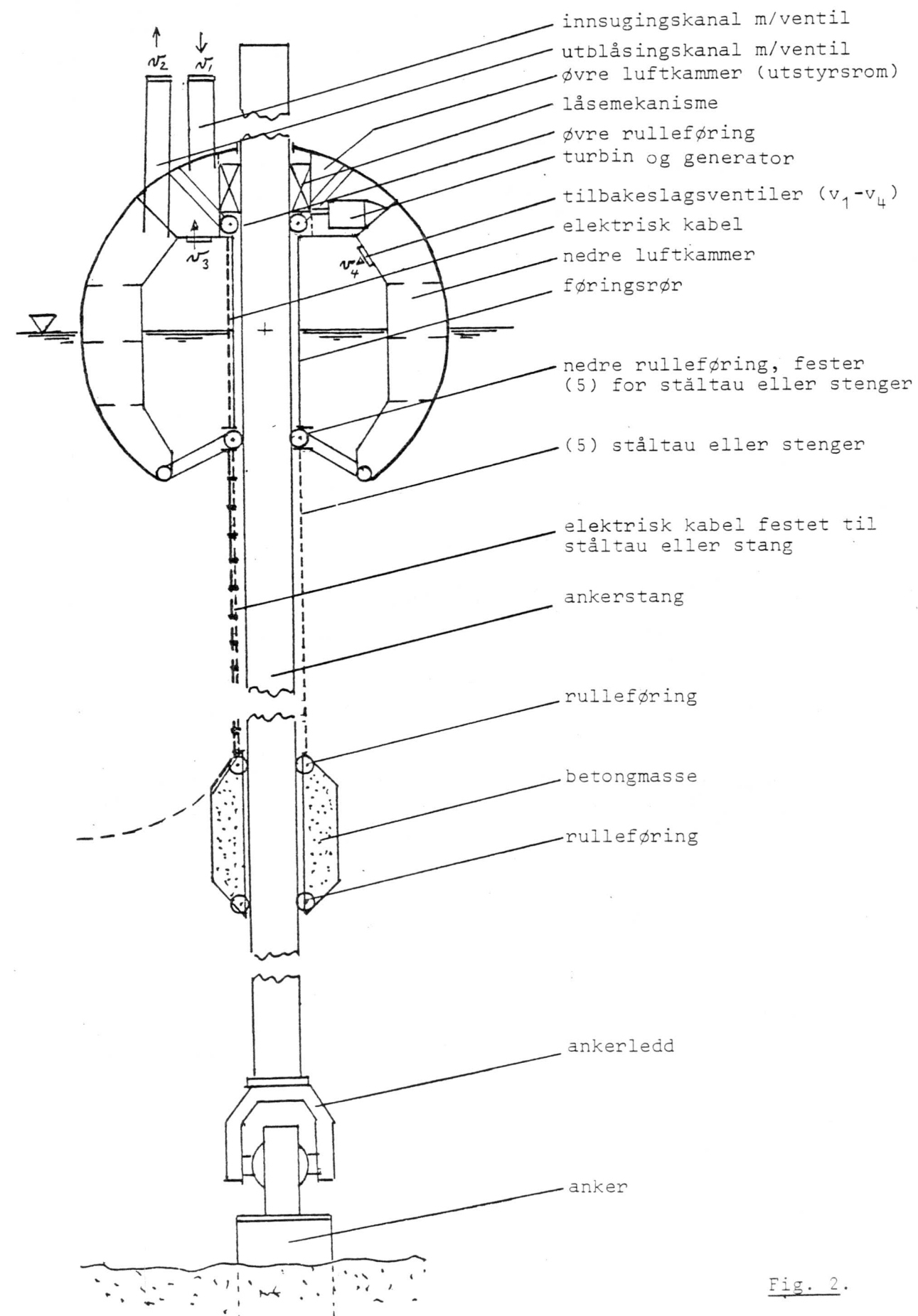


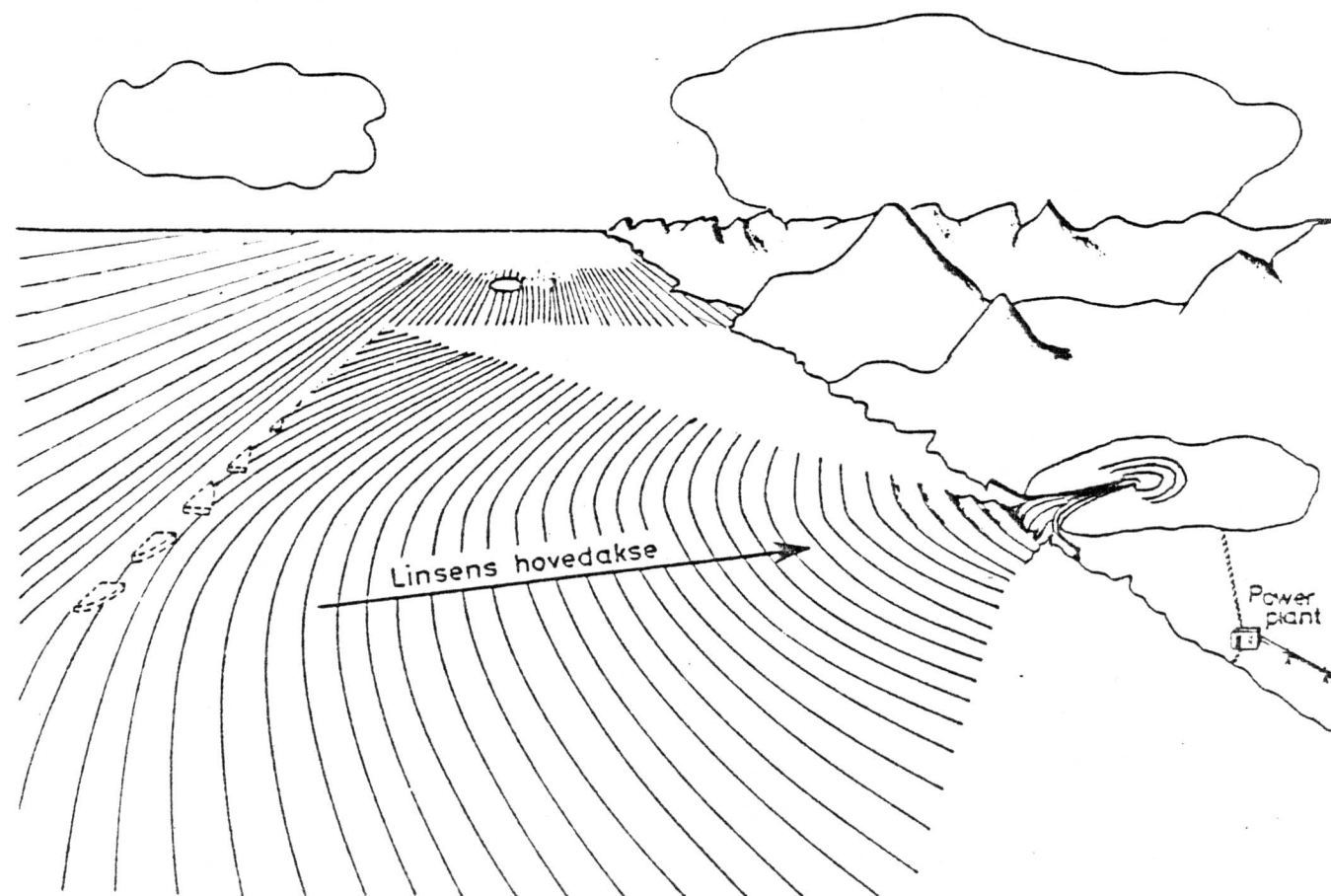
Fig. 2.



### 3.2 Fokuseringskraftverk

I forhold til rapporten "Evalueringsbølgekraft - del I" har det ikke funnet sted noen endringer når det gjelder prinsipper og virkemåte i et fokuseringskraftverk.

Konverteringsdelen i del I forutsetter meget lange kilerenner. I løpet av sommeren ble innledende forsøk med større åpningsvinkler - og dermed kortere renner - foretatt. Resultatene viser at en kan redusere lengden på kilerennene med ca. 40 % uten tap av virkningsgrad. De bygningstekniske justeringer er det tatt hensyn til i denne rapporten.



### 3.3 Svingende vannsøyle - KB

#### ENERGIOPPTAKET VED STØRRE INNBYRDES AVSTAND

Ved starten av første evalueringsrunde var arbeidet med den 2-D svingende vannsøylen i innledningsfasen. Det var gjennomført en serie forsøk med en enkelt metode. Under forsøkene ble det klart at den valgte utformingen av modellen gjorde det mulig å oppnå en relativt bred frekvenskurve for energiopptak.

Ved starten av evalueringen sto man i den situasjon at man kjente egenskapene til en mer eller mindre tilfeldig valgt konstruksjon som ikke var optimal med hensyn til bølgeklima og kostnader. Det var nødvendig å gi tilstrekkelig data for at konstruksjonen kunne kostnadsregnes og man hadde bare en valgmulighet å gå videre med den konstruksjonen man hadde undersøkt.

I tiden etterpå har man ved hjelp av et nyutviklet beregningsprogram gått videre med å optimalisere konstruksjonen.

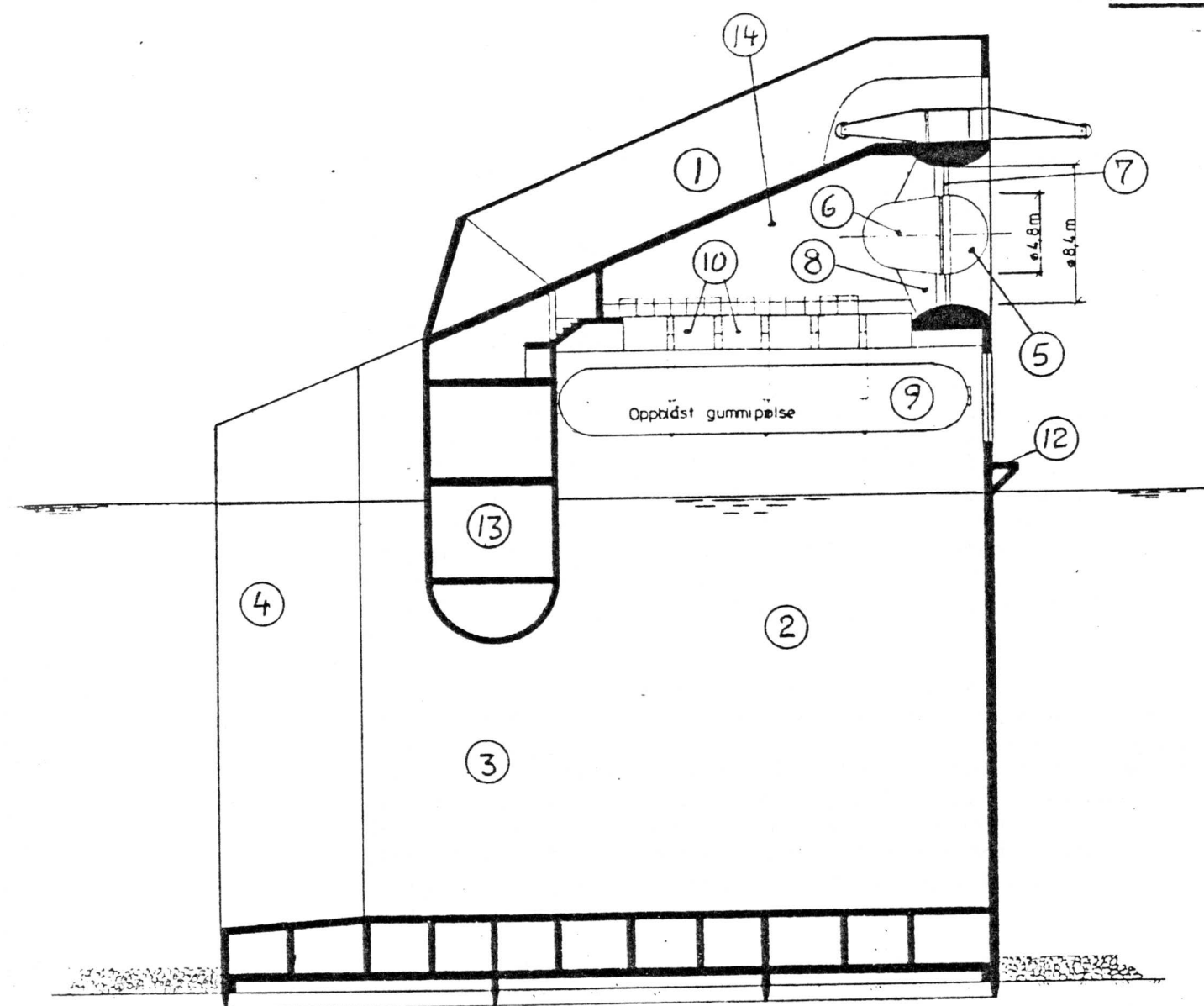
- 1) Videre arbeid med spektra for bølgeenergiflukt har vist at den opprinnelige konstruksjon faktisk hadde bredere frekvenskurve for energiopptak enn optimalt. Ved å redusere bredden noe økes i stedet energiopptaket rundt toppfrekvensen i spekteret. Dette gjøres ved å øke avstanden mellom naboenhetene.

Virkningen kan kort forklares slik:

Man tar nå en større andel av energien i bølger med frekvens rundt toppfrekvensen i spekteret og under denne, mens man tar en relativt mindre andel fra bølger med høy frekvens. Fordi de høyfrekvente bølgene utgjør en liten andel av totalenergien, blir nettovirkningen økt energiopptak. Med liten avstand mellom enhetene "konkurrerer" naboenhetene om energien i lange bølger.



- 2) Med relativt bred frekvenskurve for energiopptak oppstod problemer med å oppnå optimal dempning ved alle frekvenser. Når energiopptaket må konsentreres mer om toppfrekvensen i spekteret ved at de to resonansfrekvensene legges nærmere hverandre og tilnærmet "følger" hverandre, vil det optimale dempningsforholdet ikke endres så raskt med frekvensen som før. Bare dette forholdet vil etter våre beregninger gi en økning på 10-20 % i energiopptaket, selv med fast innstilt dempningsforhold.

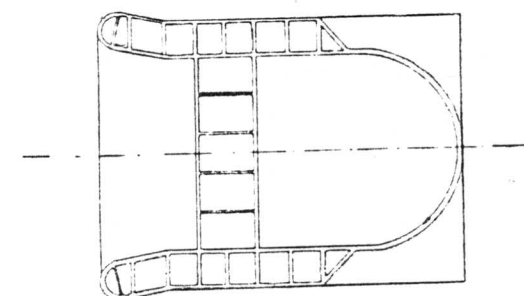


0 1 2 3 4 5 10 15 20 25 meter

MÅLESTOKK

TEGNFORKLARING

- |    |                      |
|----|----------------------|
| 1  | Ballastkammer        |
| 2  | Svingekammer         |
| 3  | Neddykket åpning     |
| 4  | Framstikkende vegger |
| 5  | Luftturbin           |
| 6  | Generator            |
| 7  | Løpehjul             |
| 8  | Ledeskovler          |
| 9  | Flottørventil        |
| 10 | Luftåpninger         |
| 12 | Kai                  |
| 13 | Tverrvegg            |
| 14 | Maskinrom            |



Svingende vannsøyle - KB

## 3.4

Svingende vannsøyle - NEL

Konseptet er utviklet av National Engineering Laboratories (NEL) i Glasgow, som er underlagt Industridepartementet i Storbritannia. Konseptets engelske betegnelse er NEL Breakwater Type Wave Piston.

Systemets virkemåte

Konseptet benytter seg i prinsipp av den samme teknikk som Kværner Brugs (KB) Svingende vannsøyle for å konvertere bølgeenergi over til elektrisk energi. Et kammer står i forbindelse med sjøen gjennom en neddykket åpning, slik at væskesøylen inne i kammeret vil svinge i takt med bølgene. Væskesøylen pumper luft gjennom en turbin som er koblet til en generator. Da den prinsipielle virkemåten til en svingende vannsøyle er nærmere beskrevet under pkt. 3.3, vil bare de vesentligste forskjellene mellom KB's konsept og NEL's konsept bli forklart nærmere her.

I motsetning til KB's konsept er NEL's Svingende vannsøyle ikke en punktaborbator. KB's konsept vil absorbere energi over en bredde som er flere ganger den neddykkede åpningens bredde. NEL derimot vil kun absorbere energi over en bredde som er lik bredden av den neddykkede åpningen. Fordelen med NEL's konsept er at enhetene kan kobles sammen i rekker, slik at kraftverket blir mer kompakt. På den andre siden vil energjabsorbsjonen pr. enhet bli mindre enn for KB's punktaborbator.

Turbinen som NEL benytter, er en Francis-turbin som er utviklet av General Electric Comp., UK. Francis-turbinen er i dette tilfelle bygget for luft som fluidum. Luftstrømmen likerettes i et ventil- og kanalarrangement som vist på figur 1. Fordelen med en Francis-turbin er at den har noe høyere virkningsgrad (ca. 10%) enn KB's Well's turbin. Fordelen med Well's turbin er at den ikke er avhengig av å likerette luftstrømmen, slik at ventil- og kanalarrangementet som er vist på figur 1, kan sløyfes.

Bygging og installasjon

Et bølgekraftverk på 200 MW vil bli bygget opp av 78 enheter som hver består av 4 celler. Hver celle består av et væskesøylekammer med tilhørende turbin, ventilarrangement og generator. En transformator er felles for alle 4 celler i en enhet. Figur 2 viser en skisse av en enhet.



Enhetene er plassert på sjøbunnen i en rekke slik at kraftverket danner en molo. Enhetene er festet til sjøbunnen med 150 stk. fjellankere - i motsetning til KB's konsept som er en gravitasjonskonstruksjon. Byggematerialet er betong, og konstruksjonen støpes ferdig i tørrdokk før den slepes ut til installasjonstedet. Her ballasteres enheten ned på en på forhånd avrettet flate. Fjellankrene installeres ved hjelp av et spesialfartøy. Ute på feltet bli så maskineriet montert. Dette er vist på figur 3.

#### Vedlikehold

Maskineriet (turbin, generator og ventilarrangement) er montert i en modul for hver celle, som kan kobles fra enhetene ute på feltet. Større overhalingen av maskineriet vil derfor skje på land. Det er antatt at ca. 10% av modulene til enhver tid vil være inne til overhaling (iflg. NEL). Det vil derfor bli bygget 10% flere maskinerimoduler enn celler, slik at kraftverket vil ha kontinuerlig 100% installert effekt tilgjengelig (NEL's filosofi).

Turbinen er ikke sikret mot ekstreme bølger, slik at vann vil slå gjennom turbinen fra tid til annen. Turbinen er imidlertid dimensjonert for å kunne tåle dette.

NEL har forutsatt at alt vedlikehold vil skje i sommerhalvåret, og at systemet skal klare seg selv i vinterhalvåret (6 mndr). Systemet vil imidlertid være kontinuerlig overvåket gjennom et "on line condition monitoring system". Foruten maskineriet vil betongstruktur og ankerpunktene bli overvåket med dette systemet.

#### Fremtidig utvikling

Det konseptet fra NEL som er studert i denne rapporten, er den såkalte 1980 Breakwater Reference Design. Den er tenkt plassert direkte på sjøbunnen på 18 meters vanddyp. NEL holder imidlertid på med et nytt konsept, hvor hovedendringen i forhold til Breakwater-konseptet går ut på at enhetene plasseres på en plattform og flyttes ut til et vanddyp på 25 meter. Hensikten er å øke energiopptaket i og med at bølgene har større energiinnhold på 25 meters vanddyp enn på 18 meters dyp. Enhetens design er også forandret for å kunne fange opp mer av den innkommende bølgeenergi. NEL forventer en vesentlig kostnadsreduksjon pr. kWh med det nye konseptet.

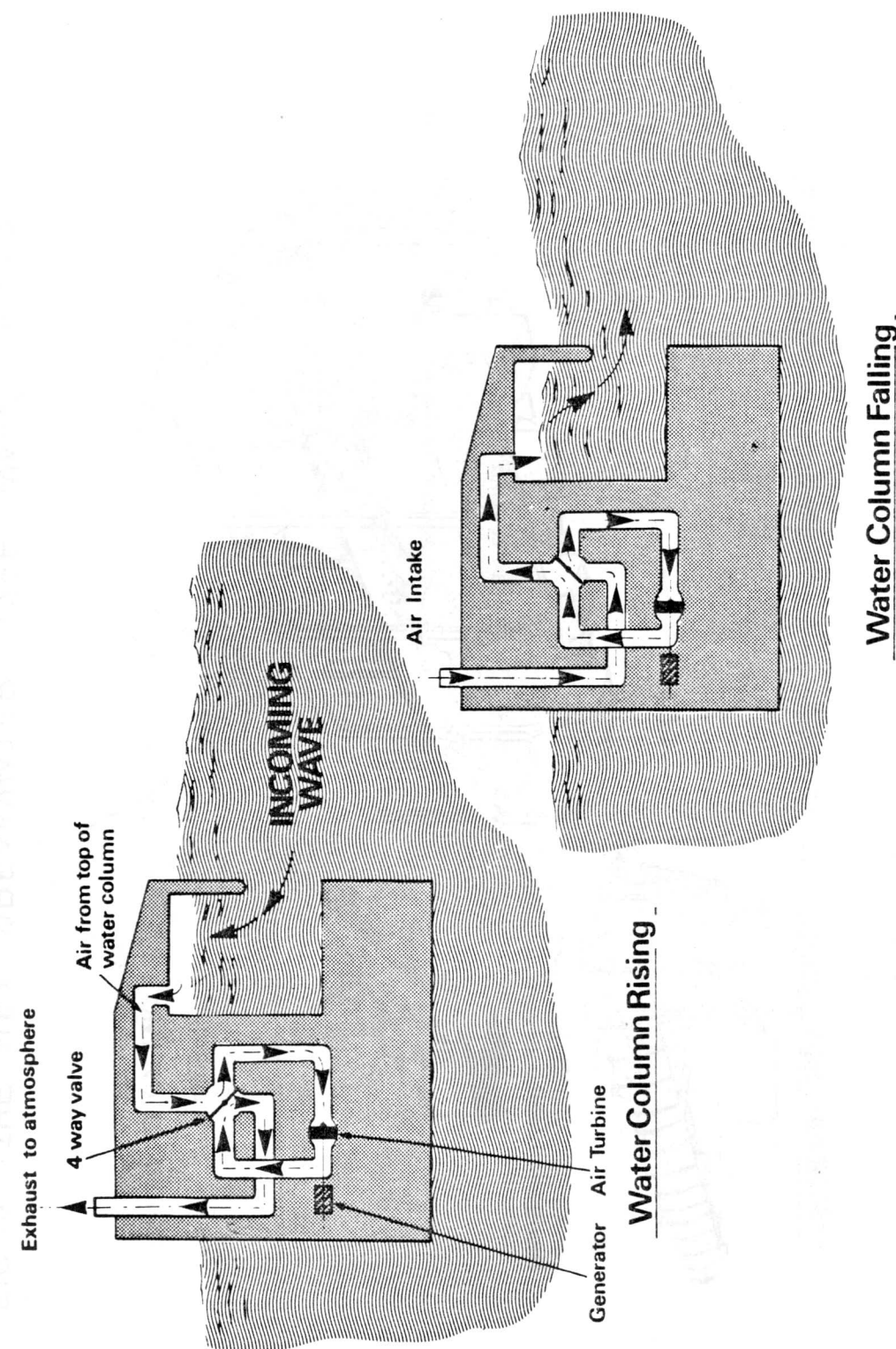


FIG 1 SCHEMATIC OPERATION OF NEL OSCILLATING WATER COLUMN

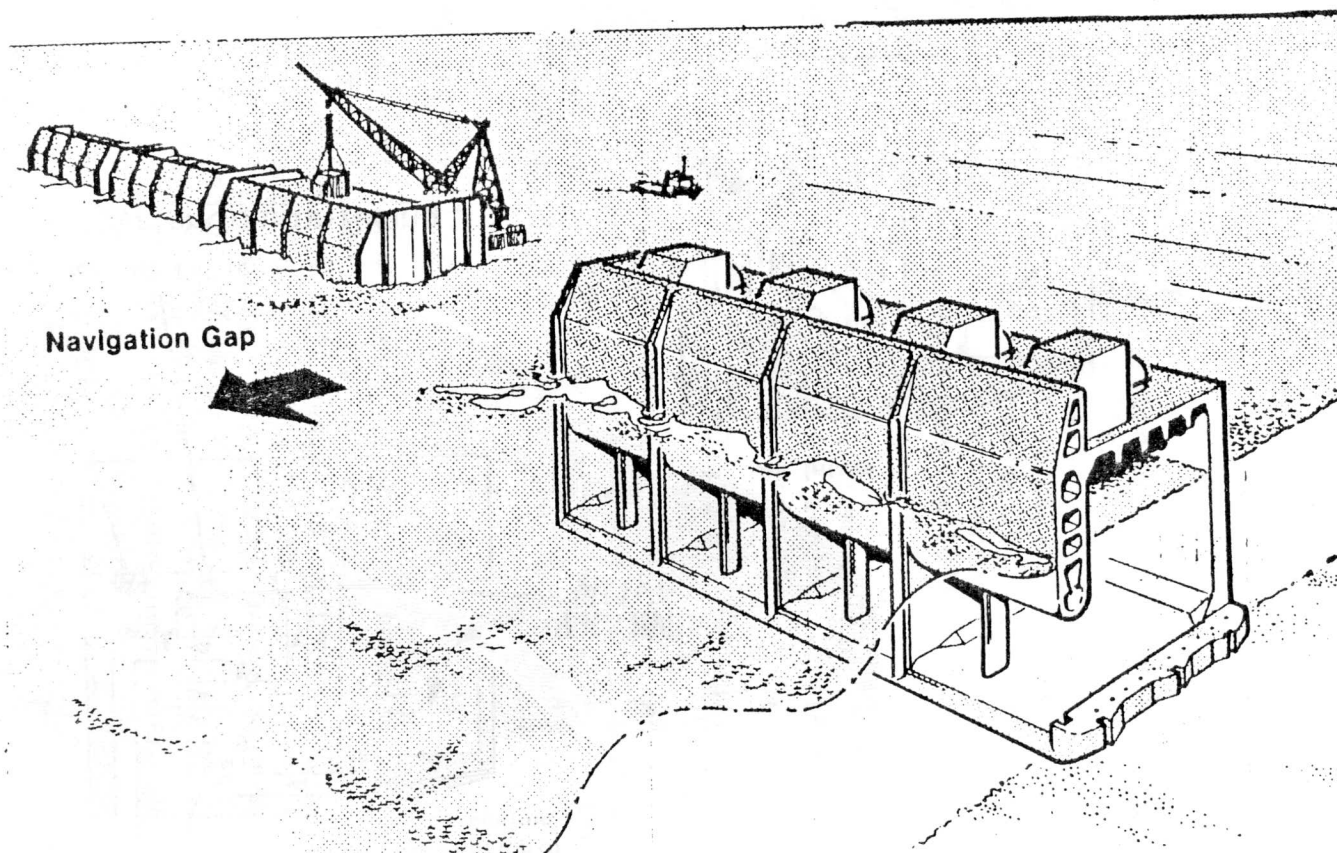
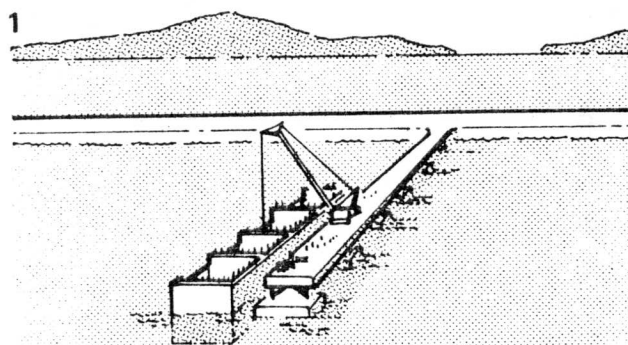
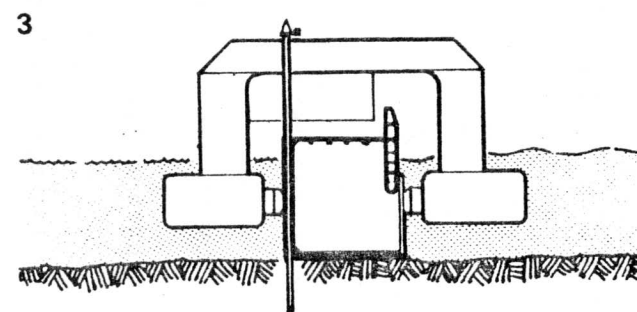


FIG 2 THE NEL BREAKWATER TYPE WAVE PISTON  
(MARCH 1980 REFERENCE DESIGN)

### CONSTRUCTION AND INSTALLATION

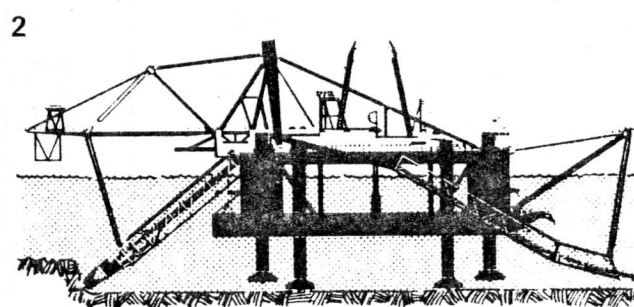


1  
CONSTRUCT BASE AND LOWER WALLS IN OIL PLATFORM DRY DOCK (FIVE AVAILABLE IN FIRTH OF CLYDE) COMPLETE CONSTRUCTION AFLOAT.

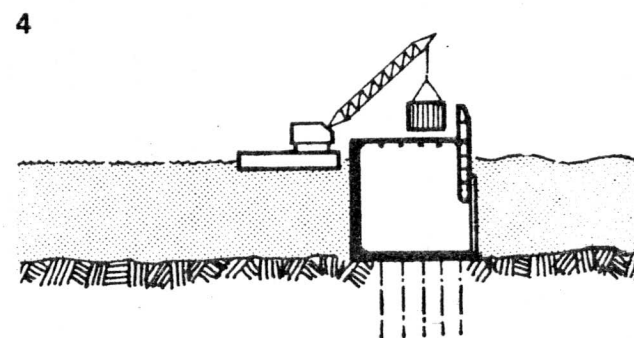


3  
TOW OUT AND BALLAST STRUCTURE ONTO PREPARED SEA BED, INSTALL ROCK ANCHORS.

All work can be carried out using existing techniques



2  
PREPARE SEA BED AT SITE.



4  
INSTALL PLANT MODULES FROM LANDWARD (SHELTERED) SIDE.

FIG 3 CONSTRUCTION AND INSTALLATION





Kvaerner Engineering A.S

# RAPPORT

RAPPORT NR.

0906-1420-008

TILGJENGELIGHET

FORTROLIG

TITTEL Evaluering bølgekraft - fase 2	DATO 11.11.1981
	ANTALL SIDER 17
	ANTALL VEDLEGG 8
LAGET AV Asbjørn Hjertvik	GODKJENT AV  Gunder A. Jahren
AVDELING Industri/Energidivisjonen	PROSJEKT NR. 0906

KLIENT Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen Statskraftverkene	KLIENTENS REFERANSE NR. B-2921
--	-----------------------------------

## SAMMENDRAG

Tre norske konsepter og et britisk konsept av bølgekraftverk har vært vurdert:

N2-Bøye	NTH
Havbølgelinse	SI
Svingende vannsøyle	Kværner Brug A/S
Svingende vannsøyle	NEL, Storbritannia

En teknisk og økonomisk vurdering er gjort for bygging, installasjon, drift og vedlikehold av den delen av kraftverket som er lokalisert i sjøen - kabel til land unntatt.

Størrelsen på det vurderte kraftverket er 200 MW.

Denne rapporten er en videreføring av evalueringen i fase 2, som er gitt i rapport nr. 0906-1420-006.

Kun Bremanger som lokaliseringssted er vurdert i fase 2.

## HOVEDKONTOR

ADRESSE: POSTBOKS 222-1324 LYSAKER

TELEFON: 02/ 59 50 50

TELEX: 17727-71323 KVENG N OSLO

## EMNEORD

Bølgekraftverk

Økonomi

Evaluering

## 4. TEKNISK/ØKONOMISK VURDERING AV KONSEPTENE

4.1 Teknisk vurdering

Det er ved den tekniske vurdering lagt vekt på tilpasning til serieproduksjon, driftspålitelighet og vedlikeholdsvennlighet. Sentralt for vurderingen står bruk av kjent teknologi og kjente komponenter samt bruk av materiale som tåler det svært korrosive miljø i Nordsjøen. Beregninger av belastninger, kapasiteter og materialbehov er ikke overprøvet.

4.1.1 Bygging og installasjon

## N2-bøyen

-----

Det kan by på problemer å føre forankringsstangen gjennom oppretingsmasse og bøye på grunn av små toleranser og store masser som skal håndteres. Lite skal til før operasjonen kan medføre forsinkelser i byggeprogrammet.

Bøyeskroget bør forsynes med luker for å kunne løfte inn maskinelt og elektrisk utstyr. Dette er også nødvendig for vedlikeholdet i driftsfasen.

Forøvrig representerer systemet kjent teknologi, som ikke gir vesentlige problemer under byggingen.

Utslep og installasjon er avhengig av bra vær, og må legges til sommerhalvåret.

## Havbølgelinse

-----

Linseelementene er bygget i betong, og bygging og installasjon kan skje uten store problemer.

Utslep og installasjon bør legges til sommerhalvåret.

## Svingende vannsøyle - Kværner Brug

-----

Betongdelen representerer hovedtyngden av kostnadene av enhetene, og må anses å representere konvensjonell betongteknologi. Det øvrige utstyr er spesifisert svært lite i detalj, men består stort sett av kjente komponenter.

Utslep og installasjon må legges til sommerhalvåret.

## Svingende vannsøyle - NEL, Storbritannia

-----

Betongdelen representerer konvensjonell teknologi, og maskinelt og elektrisk utstyr er i det alt vesentlige standard komponenter.

Utslep og installasjon må legges til sommerhalvåret.

4.1.2 Drift og vedlikehold

## N2-bøye

-----

Generelt sett er N2-bøyen noe uheldig hva driftspålitelighet angår, da man av erfaring vet at bevegelige deler i sjøvann og sjøluft er svært utsatt for slitasje og korrosjon. Dette gir seg utslag i store drifts- og vedlikeholdskostnader. N2-bøyen representerer likevel en forbedring i forhold til M2-bøyen, som ble vurdert under fase 1 av evalueringen.

Uforutsett driftsstans vil ha konsekvenser for elektrisitetsproduksjonen. Dette er ikke vurdert kvantitativt i denne rapporten.

Bøyens bevegelse kan utsette skrog og utstyr for påkjenninger som kan føre til utmattingsbrudd. Bøyens bevegelse vil også utsette lagre og utstyr for påkjenninger. Effekten av disse påkjenningene bør studeres nærmere ved langtidsforsøk i full skala.

Det bør vurderes bruk av varmekabler for å unngå ising av luftinntak og øvre del av bøyeskrog.

Et bedre entringssystem for vedlikeholdspersonell bør vurderes.

## Havbølgelinse

-----

Linseelementene må sies å være drifts- og vedlikeholdsvennlige. Svakheten ligger i begroing av overflatene og i slitasje på forankringskjettinger.

Konsekvensene av og risikoen for at et linseelement sliter seg og kommer i drift bør vurderes.



## Svingende vannsøyle - Kværner Brug

Konseptet er drifts- og vedlikeholdsvennlig, da det inneholder få bevegelige deler. En svakhet med anlegget er at turbinen står i direkte kontakt med saltvannholdig luft, og er dermed utsatt for korrosjon. Det vil være nødvendig å vaske rotor og ledeskovler med kjemikalier og vann for å fjerne saltbelegg.

Det bør vurderes om turbinen genererer støy over det akseptable nivå for vedlikeholdspersonalet og for den lokale befolkning.

Ising kan gi problemer med tetting av kanaler.

## Svingende vannsøyle - NEL, Storbritannia

Konseptet synes ut fra eksisterende dokumentasjon å være vedlikeholdsvennlig. Det synes som om vedlikeholdet har vært gjennomtenkt på et tidlig tidspunkt i design-fasen.

Modulprinsippet synes å være en bra løsning både ut fra vedlikeholdssynspunkt og for å oppnå en minimal tid for driftsstans.

De svake punktene i konseptet er det elektrisk styrte ventilsystemet i luftkanalene til turbinen. Styringen av disse ventilene vil også være et svakt punkt på kraftverket.

Saltbelegg i kanaler, ventiler og turbin vil også være en svakhet ved anlegget.

## 4.2

## Kostnadsvurdering

Grunnlaget for kostnadsvurderingen er tegninger og spesifikasjoner som er utført av konseptinnehaverne (NTH, SI, Kværner Brug A/S og NEL, se vedlegg). Underlaget for fase 2-evalueringen har vært bedre enn det som ble presentert under fase 1.

Usikkerheten i kostnadsoverslaget er vurdert til - 20% / +30%.

Forutsetningene for alle beregningene er krav til kontroll og klassenivå for sveisere ifølge Det norske Veritas' regler for skip. Mekaniske Verksteders Landsforenings satser er brukt som grunnlag for beregning av timekostnader i mekaniske verksteder.

Det er ikke blitt bekreftet hvilke kvalitetsstandarder som skal benyttes, og DnV's regler for skip er derfor valgt av Kvaerner Engineering A.S for denne studien. Lavere krav til kvalitet og sikkerhet er vurdert til ikke å ville bli godtatt. Dersom lavere krav likevel blir akseptert, vil man kunne redusere totalkostnadene med ca. 5-10%. Til sammenligning vil totalkostnadene øke med minimum 50% dersom man legger til grunn de krav til kvalitet og sikkerhet som benyttes i olje- og gassindustrien i Nordsjøen.

Alle kostnader er 1981-kostnader.

Renter i byggetiden er ikke inkludert i de følgende kostnadsberegningene.

Alle kostnader er gitt pr. enhet, men det er forutsatt at enhetene skal produseres i serie. Gevinster som oppnås ved serieproduksjon og ved rabatter som kan oppnås ved kjøp av et stort antall komponenter, er således tatt med i kostnadsberegningene. Produksjonen er tenkt lagt til eksisterende fabrikanlegg. Produksjon i spesialfabrikker har ikke vært vurdert, men en tilleggsstudie på produksjon av 5 000 stk. N2-bøyer er satt ut til Kværner Brug A/S, som vil vurdere bruk av spesialisert utstyr. Resultatet av denne studien vil komme i en separat rapport.

Det er forutsatt at kraftverket blir plassert på Bremanger. For havbølgelinsen er også Fugløy-alternativet vurdert.

Når det gjelder drifts- og vedlikeholdskostnader, er det forutsatt at nødvendig arbeidskraft og verkstedkapasitet er tilgjengelig.

På grunn av mangelfull dokumentasjon vil usikkerheten i kostnadsoverslaget for NEL's konsept være større enn for de norske konseptene. Av samme grunn er kostnadene blitt estimert til å bli relativt høyere enn for de norske konseptene. Dette betyr at kostnadene for NEL's konsept og for de norske konseptene ikke fullt ut er sammenlignbare.

NEL's konstruksjon har svært mange likhetpunkter med Kværner Brug's konsept, som er vurdert i rapport nr. 0906-1420-003. Resultater herfra er derfor benyttet i dette kostnadsoverslaget.

Levetiden for enhetene er beregnet ut fra erfaring med bruk av utstyr i samme miljø og ut fra kontakt med leverandører av enkeltkomponenter.

#### 4.2.1 Bygging og installasjon, kostnader

##### 4.2.1.1 N2-bøye

Bøyeskroget representerer konvensjonelt skipsverftarbeid, og tenkes bygget opp i vertikal stilling. Utstyr løftes inn etter sammensveising og maling.

Bøyeskrog og opprettingsmasse legges på løftebord som er bevegelige om tre akser før innføring av forankringsstang. Deretter monteres universalledd og anker.

Ankeret er flytende, og fylles med ballast etter nedsetting. Anker, forankringsstang og bøye slepes som en enhet, og ballasteres ned på en på forhånd preparert sjøbunn. Det er forutsatt at sjøbunnen består av bæredyktige masser eller fjell.

Ankeret fylles med slig og sand og injiseres. Deretter kan bøyen klargjøres og settes i produksjon. Installasjonen må legges til sommerhalvåret.

På grunn av bedre informasjon om bunnforholdene utenfor Bre-manger er det lagt inn en tilleggskostnad for avretting av bunnen, som var utelatt ved fase 1 evalueringen.

Kostnadene for ankerledd og rulleføringer er redusert i forhold til de tall som fremkommer i rapport 0906-1420-006 i henhold til nye pristilbud. Det er en forutsetning for godkjennelsen av prisene på rulleføringene at disse gjøres elastiske eller gjøres fjærende, fordi minimum 3 hjul må være i kontakt med forankringsstangen samtidig ved belastning.

#### Sum byggekostnader inkl. montasje:

1	Bøyeskrog	kr.	1 470 000,-
2	Forankringsstang	kr.	440 000,-
3	Universalledd	kr.	337 000,-
4	Opprettingsmasse	kr.	50 000,-
5	Sikring mot rotasjon	kr.	5 000,-
6	Gravitasjonsanker	kr.	1 300 000,-
7	Maskinelt utstyr	kr.	1 045 000,-
8	Elektrisk utstyr	kr.	200 000,-
9	Uforutsett 10%	kr.	483 000,-

Totale byggekostnader pr. bøye kr. 5 330 000,-

#### Sum installasjonskostnader:

10	Slep av bøye	kr.	70 000,-
11	Installasjon og klargjøring	kr.	490 000,-
12	Uforutsett 20%	kr.	110 000,-

Totale installasjonskost. pr. bøye kr. 670 000,-

#### I tillegg kommer følgende kostnader for bygging av alle bøyer:

13	Engineering	kr.	2 150 000,-
14	Anlegg for bygging av ankere	kr.	100 000 000,-
15	Anlegg for bygging av opprettingsmasser og vektor for rotasjonskontroll	kr.	2 000 000,-
16	Geologisk grunnundersøkelse av installasjonsstedet	kr.	5 000 000,-
17	Anlegg for montasje	kr.	50 000 000,-
18	Avretting av sjøbunn	kr.	100 000 000,-

Sum engangskostnader, kraftverk kr. 259 150 000,-

Antall bøyer: 410

Sum bygging og installasjon kr. 2 719 000 000,-

Beregnet levetid: 20 år



## 4.2.1.2 Havbølgelinse

Byggematerialet for havbølgelinsen er i fase 2 forandret fra stål til betong. Konstruksjon og kostnadsoverslag av linselementene er utført av Ingeniør F. Selmer A/S.

Det er regnet med at det skal bygges 70 stk. bølgelinser innenfor ett område.

Det er forutsatt at anleggsområdet for produksjon av betongenheter kan etableres i rimelig nærhet av de alternative plasseringsområder.

Videre er det forutsatt at det angitte antall på 70 enheter skal bygges og plasseres i løpet av en 5-års periode. Dette er inklusive tid for tilrigging.

Det er forutsatt å produsere betongenhetene i tørrdokk. Produksjon på slipp (bedding) er ikke vurdert i denne studien, selv om dette også kunne være en mulighet.

For å oppnå den ønskede produksjonskapasitet for betongenhetene, vil det bli nødvendig å etablere 3 stk. tørrdokker med størrelse ca. 110 x 160 m, dybde i dokken er ca. 5 meter, slik at det arbeides med 2 enheter samtidig i hver dokk. Dokkene er tenkt utsprengt i fjell med kanal inn fra sjøen og forsynt med port.

Alle betongarbeider forutsettes utført i dokk. Utrustning for fortøyninger forutsettes utført ved kai i tilknytning til anlegget.

Da det regnes med at bølgelinsene ikke kan installeres om vinteren, må det sørges for midlertidige fortøyninger ved produksjonsstedet av et antall enheter, forutsatt 20 stk.

Det er regnet med en total byggetid på 5 år, iberegnet 1 år i forberedende arbeider og planlegging. I de forberedende arbeider inngår blant annet bygging av 3 stk. tørrdokker, utrustningskai og midlertidige fortøyningsanordninger.

De bygningsmessige betongarbeider er vurdert å kreve ca. 55 000 - 65 000 timeverk pr. enhet, og det er anslått en bemanning på 700-800 mann.

Dimensjonene av forankringsutstyret er øket, hvilket medfører høyere kostnader i forhold til fase 1 evalueringen. De nye dimensjonene er gitt av Bergens Mek. Verksted A/S.

Linseelementene er installert på 120 meters vandyp ved Bremanger og 250 meters vandyp ved Fugløy.

Kostnadsoverslaget er av Ingeniør F. Selmer A/S satt opp som følger:

1	Tilrigging, forberedende arbeider, planlegging, inkl. bygging av 3 stk. tørrdokker, nødv. kai, rigg og drift av brakker, verksteder, lager, produksjonstutstyr for betong, el-fors., transporter, planlegging etc.	kr. 400 000 000,-
2	Produksjon av 70 stk. bølgelinser kompl. betongarbeider	kr. 2 100 000 000,-
Sum		kr. 2 500 000 000,-
	Uforutsett ca. 10%	kr. 250 000 000,-
Sum bygningsmessige arbeider		kr. 2 750 000 000,-

- Overslaget er basert på pris- og lønnsnivå mai 1981.
- Byggested Syd-Norge.
- Forsikringen og kapitalrenter i byggetiden ikke medtatt.

I tillegg kommer følgende kostnader, beregnet av Kvaerner Engineering A.S (angitt pr. linseelement):

3	Forankringsutstyr	
3.1	Bremanger	kr. 10 100 000,-
3.2	Fugløy	kr. 12 500 000,-
Sum installasjonskostnader:		
4	Slep av linseelement	kr. 175 000,-
5	Forsikring av slep	kr. 120 000,-
6	Installasjon og klargjøring	kr. 520 000,-
7	Uforutsett 20%	kr. 160 000,-

Totale installasjonskostnader pr. linseelement	kr. 975 000,-
--	---------------

For Bremanger-alternativet benyttes en korreksjonsslinse. Forankringsutstyret for denne er kr. 600 000,- billigere pr. linseelement enn for hovedlinsen.

I tillegg kommer følgende kostnader for bygging av alle linseelementene:

8	Engineering	kr.	6 600 000,-
9	Geologisk grunnundersøkelse av installasjonsstedet	kr.	5 000 000,-
Sum		kr.	11 600 000,-

Sum bygging og installasjon av alle linseelementer:

Lokalisering	Antall linseelementer	Kostnad
Bremanger	Hovedlinse: 57 Korreksjonslinse: 28	4 181 000 000,-
Fugløy	Hovedlinse: 84	4 356 000 000,-

Beregnet levetid: 30 år.

#### 4.2.1.3 Svingende vannsøyle - Kværner Brug

Konseptet er identisk med det som ble presenteret til fase 1 evalueringen med følgende unntak:

- installert effekt er øket fra 4 MW til 8 MW
- antall enheter er redusert fra 50 til 25.

Dette har fått konsekvenser for kostnadene for turbin, generator, engineering og anlegg for bygging av betongdelen.

På grunn av bedre informasjon om bunnforholdene utenfor Bremanger er det lagt inn en tilleggskostnad for avretting av bunnen, som var utelatt ved fase 1 evalueringen.

Sum byggekostnader:

1	Betongkonstruksjon	kr.	36 670 000,-
2	Turbin m/ledeskovler og svingehjul	kr.	2 200 000,-
3	Generator m/bremsearrangement	kr.	4 760 000,-
4	Apparatanlegg	kr.	600 000,-
5	Tilbakeslagsventil	kr.	300 000,-
6	Heisanordning	kr.	200 000,-
7	Tillegg for uspesifisert utstyr	kr.	2 000 000,-
8	Uforutsett 10%	kr.	4 670 000,-

Totale byggekostnader pr. enhet kr. 51 400 000,-

Sum installasjonskostnader

9	Slep og nedsetting (inkl. forsikring)	kr.	1 000 000,-
10	Preparering av sjøbunn	kr.	3 000 000,-
11	Ballastering	kr.	1 500 000,-
12	Uforutsett 10%	kr.	550 000,-

Totale installasjonskostnader pr. enhet kr. 6 050 000,-

I tillegg kommer følgende kostnader for bygging av alle enheter:

13	Engineering	kr.	10 000 000,-
14	Anlegg for bygging av betongdel	kr.	245 000 000,-
15	Geologisk grunnundersøkelse av installasjonsstedet	kr.	5 000 000,-
16	Avretting av sjøbunn	kr.	45 000 000,-

Sum engangskostnader, kraftverk kr. 305 000 000,-

Antall enheter : 25

Sum bygging og installasjon: kr. 1 741 000 000,-

Beregnet levetid: 35 år

Levetiden er beregnet for utrustning som turbin og generator. Det er da forutsatt at en del av generatorene må omvikles. Levetiden for betongkonstruksjonen er langt høyere.

#### 4.2.1.4 Svingende vannsøyle - NEL, Storbritannia

Produksjonsmetoden vil i prinsipp være den samme som for Kværner Brug's konsept med det unntak at alt maskinelt og elektrisk utstyr her vil bli montert i en separat modul. Denne fraktes ut til kraftverkets installasjonssted for å bli montert på betongenhetene her.

Leie av spesialrigg vil være nødvendig for å installere fjellankrene.

Kostnadene er gitt pr. enhet. Hver enhet består av 4 celler og 4 sett med maskininstallasjoner à 650 kW.



## Sum byggekostnader:

1	Betongkonstruksjon	Kr.	45 000 000,-
2	Maskininstallasjon	"	16 000 000,-
3	Uforutsett 10%	"	6 000 000,-

Totale byggekostnader pr. enhet Kr. 67 000 000,-

## Sum installasjonskostnader:

4	Slep og nedsetting	Kr.	1 000 000,-
5	Preparering av sjøbunn, injisering og forankring	"	10 000 000,-
6	Uforutsett 10%	"	1 000 000,-

Totale installasjonskostnader  
pr. enhet Kr. 12 000 000,-

I tillegg kommer følgende kostnader for bygging av  
alle enheter:

7	Forberedelser til bygging	Kr.	440 000 000,-
8	Engineering	"	15 000 000,-
9	Geologisk grunnundersøkelse	"	5 000 000,-

Sum engangskostnader, kraftverk Kr. 460 000 000,-

Antall enheter: 78 + 30 reserve maskininstallasjoner.

Sum bygging og installasjon: Kr. 6 760 000 000,-

Levetiden settes lik 30 år som beregnet av NEL.

## 4.2.2

## Drift og vedlikehold, kostnader

Grunnlaget for valg av nivå for driftsikkerhet og beregnet tid til kontroll og vedlikehold er en blanding av erfaringsverdier og forskrifter for skip og offshore plattformer, men med hovedvekten lagt på skip. Egne vurderinger har imidlertid vært nødvendig fordi utstyret er såpass spesielt.

Arbeidstilsynet er ikke kontaktet for godkjenning av vedlikeholdsarbeider ombord i enhetene, da dette ansees å være et konstruktøransvar. Det er forutsatt at N2-bøyene kan holdes i ro under arbeider ombord. Det er imidlertid trolig at et spesielt entringssystem er nødvendig for bøyene.

Estimerte kostnader og filosofi for drift og vedlikehold er utført av Terotech A/S etter oppdrag fra Kvaerner Engineering A.S. Se vedlegg 8.

Alle kostnader er gitt pr. enhet pr. år dersom ikke annet er spesifisert.

Forkortelser som er brukt i teksten:

NDT = Non Destructive Testing/Kvalitetskontroll  
RCV = Remote Controlled Vehicle/fjernstyrt undervannsfartøy

## 4.2.2.1 N2-bøye

-----

Vedlikeholdskostnader for N2 bølgekraftverk er estimert ut fra følgende forutsetninger:

- Det fabrikeres et visst antall enheter (f.eks. 10 stk.) som plasseres på feltet. Disse vil være i drift over et tidsrom på ca. 2 år.
- Det legges opp et integrert vedlikeholdssystem for enhetene, hvor svakheter på utstyret registreres og utbedres, og hvor erfaringer tilbakeføres til design av etterfølgende enheter.
- Det foretas registrering av visse viktige parametre på enheten, som f.eks. dynamiske påkjenninger, slitasje, korrosjon, etc., som tilbakeføres til design av etterfølgende enheter.
- Det forutsettes at vitale komponenter som universalledd mot anker, ankerstang, etc. har en levetid på 20 år. Dette innebærer at anker, universalledd og ankerstang ikke demonteres under denne periode.

Estimatet er basert på at vedlikeholdet utføres utfra en flytende, mobil leker som flyttes fra enhet til enhet. Denne vil være utstyrt med verksted for sveising, dreining, sliping, etc. Enheten koples fast til denne leker.

Inspeksjons- og vedlikeholdsintervaller settes ut fra erfaring fra tilsvarende anlegg. Ut fra de erfaringer man høster under den første driftsfase, vil intervallene justeres etter feilfrekvens på utstyr. Intervallene vil videre være gjenstand for en kontinuerlig justering ut fra feilfrekvenser.

Inspeksjonsintervaller for kritiske komponenter/systemer vil i liten grad være gjenstand for justeringer.

Det forutsettes at det utarbeides en komplett vedlikeholdsmanual med tilhørende vedlikeholdsinstrukser og vedlikeholdsprogram for enheten. Grunnlaget for denne manual vil være produktmanual fra utstyrets leverandør.

Mer utfyllende kommentarer til drift og vedlikehold av N2-bøyen finnes i vedlegg 8.

Drift og vedlikehold, kostnader:

Antall timer pr. enhet pr. år	724 timer
Materialkostnad pr. enhet pr. år	kr. 90 000,-
Kostnad for vedlikeholdsfartøy over en 14 dagers periode	kr. 120 000,-
Totale vedlikeholdskostnader pr. år pr. enhet inklusive fartøy	<u>kr. 550 000,-</u>
Antall enheter:	410
Totale vedlikeholdskostnader pr. år for alle enheter:	<u>kr. 225 500 000,-</u>

## 4.2.2.2 Havbølgelinse

-----

Fortløpende vedlikehold

Det forutsettes intet fortløpende vedlikehold av systemet. Varsellyst forutsettes å operere uten betjening og ettersyn over lengre perioder.

Årlig vedlikehold

Den årlige vedlikeholdsaktivitet til være NDT-testing, kontroll av posisjon av anker og rengjøring.

NDT-kontroll forventes lagt opp etter utarbeidet program med kontrollpunkter avmerket. Kontroll utføres med RCV-utstyr og børsterengjøring. Det er estimert med 100% NDT-kontroll over en periode av 4 år. Det foretas kun NDT-kontroll av ankerfester og forankring.

Posisjonskontroll av dregganker kan utføres med posisjons-ankringsutstyr ut fra faste punkter på land.

Rengjøring av linser kan utføres med RCV-utstyr med høytrykkspumper.

18-års kontroll

Utgår (ref. fase 1 evalueringen).

Organisasjon

Det er ikke behov for spesiell organisasjon til å ivareta vedlikehold, og det anbefales at eksisterende verksteder i vedlikeholdet brukes.

Kostnadene som er ført opp nedenfor, er basert på leie av utstyr, hvor medfølgende mannskaper er inkludert.

Drift og vedlikehold - kostnader:

## 1 Årlig vedlikehold

1.1 NDT-kontroll	kr. 23 000,-
1.2 Posisjonskontroll av ankere	kr. 10 000,-
1.3 Rengjøring	kr. 50 000,-

Sum drift og vedlikehold kr. 83 000,-

Totale drifts- og vedlikeholdskostnader pr. år:

Lokalisering	Antalle enheter	Kostnad
Bremanger	85	7 055 000,-
Fugløy	84	6 970 000,-

4.2.2.3 Svingende vannsøyle - Kværner Brug

Det har ikke vært foretatt forandringer i Kværner Brugs konsept som har gjort det nødvendig å revurdere fase 1 evalueringens estimat over drifts- og vedlikeholdskostnader. Antall enheter er imidlertid halvert, hvilket også halverer de totale kostnadene.

Sum drift og vedlikehold pr. enhet kr 965 000,-

Antall enheter: 25

Totale drifts- og vedlikeholdskostnader pr. år for alle enhetene kr. 24 125 000,-

4.2.2.4 Svingende vannsøyle - NEL, Storbritannia

Det er forutsatt at det monteres et komplett "ON LINE CONDITION MONITORING SYSTEM" på samtlige enheter, hvor data ilandføres til en sentral. Disse data vil være retningsgivende for inspeksjon, overhaling og reparasjon.

Det forutsettes at maskinerimodulene ilandføres for vedlikehold hvert tredje år. Det forutsettes videre at reparasjon og inspeksjon utføres etter behov.

Ifølge NEL's filosofi skal det bygges ca. 10% ekstra maskininstallasjoner som vil settes inn når de operative modulene er inne for overhaling.

Kostnadene er gitt pr. enhet pr. år.

Drift og vedlikehold, kostnader:

1 Maskineri	kr. 646 000,-
2 Struktur og forankring	kr 12 000,-
3 Kranlekter	kr. 22 000,-

Sum drift og vedlikehold kr. 680 000,-

Antall enheter: 78

Totale drifts- og vedlikeholdskostnader pr. år for hele kraftverket kr. 53 000 000,-



4.2.3 SAMMENDRAG - KOSTNADSOVERSIKT

TOTALE KOSTNADER FOR ALLE ENHETER

	Lokalisering	Antall enheter	Bygging og installasjon	Drift og vedlikehold
N2-bøye	Bremanger	410	2 719 000 000,-	225 500 000,-
Havbølgelinse	Bremanger	85	4 181 000 000,-	7 055 000,-
	Fugløy	84	4 356 000 000,-	6 970 000,-
Svingende vannsøyle - Kværner Brug	Bremanger	25	1 741 000 000,-	24 125 000,-
Svingende vannsøyle - NEL,Storbritannia	Bremanger	78 + 30 reservemaskin- moduler	6 760 000 000,-	53 000 000,-

0906/I&E/9/EB16

4.3 FOKUSERENDE BØLGEKRAFT

ANLEGG PÅ LAND

ALT. DAGANLEGG

Beliggenhet: Fugløy ved Stord

FORPROSJEKT MED KOSTNADSOVERSLAG

Ansvarlige for dette prosjektet er:

Ingeniør A. B. Berdal A/S:

- Prosjektkoordinering.
- Utforming av rennesystem og kraftstasjon.
- Kostnadsberegning av kraftstasjon.
- Rentegning.
- Kostnadsberegning av elektroteknisk utstyr.

Ingeniør Thor Furuholmen A/S :

- Utforming av rennesystem.
- Vurdering og kalkulasjon av det anleggstekniske arbeid.  
inkl. adkomst og rigg.
- Tidsplan.

Sivilingeniør Nybro Hansen:

- Kostnadsberegning av maskinteknisk utstyr.

#### 4.3.1. Innledning

##### Oppdrag

Oppdragsgiver er NVE.

Målsettingen for oppdraget er å skissere og kostnadsberegne en teknisk gjennomførbar utforming av den del av et fokuserende bølgekraftverk som ligger på land.

Parallelt med denne får NVE utarbeidet en tilsvarende rapport om linsesystemet. På bakgrunn av disse rapporter vil NVE beregne totalkostnadene for et fokuserende bølgekraftverk, og således kunne vurdere dette konsept mot de 2 andre ("Svingende vannsøyle" og "Dupp") som det blir drevet utviklingsarbeide på i Norge i dag.

Det er laget en tilsvarende rapport:

"Fokuserende bølgekraftverk. Anlegg på land. Alternativ: Anlegg i fjell".

Anleggsstedet er her Bremanger i Sogn og Fjordane.

##### Omfang

Konseptet fokuserende bølgekraft kan splittes opp i 3 deler:

- a) Linser, som konsentrerer energien fra havdønningene.
- b) Rennesystem, som omformer energien i de fokuserte bølger til potensiell energi.
- c) Kraftstasjon, som er den konvensjonelle del som omformer potensiell energi til elektrisk kraft.

Denne rapport omhandler punkt b) og c). Dog er fjernledninger, samt kostnader til prosjektering, grunnervervelse, erstatninger, avgifter og renter i byggetid ikke tatt med.

4.3.2. Prosjektets rammebetingelser

Prosjektet er gjennomført med følgende forutsetninger gitt av NVE og Sentralinstituttet for Industriell Forskning (SI):

- maksimal ytelse: 200 MW
- Plassering: Fugløy ved Stord
- Rennesystemets geometri og dimensjoner er gitt som vist.

Maksimalytelsen på 200 MW er valgt relativt vilkårlig, men er den samme rammebetingelse som de 2 andre bølgekraftkonseptene har. Det er derfor viktig å presisere at installasjonen på 200 MW ikke er fremkommet som resultat av en optimaliseringsstudie (hvor bølgeforhold, sjødyp, linsekostnad og topografien på land ville vært viktige parametere). Det samme forhold gjelder generelt også for andre dimensjoner på anlegget. Ytterligere beregninger og modellforsøk må til for å bestemme den gunstigste kombinasjon av traktåpninger, rennefasong, utforming av overløpsterskler etc.

Fugløy er en flat øy på ca. 1500 m x 1000 m, og med en maksimalhøyde på ca. 40 m. Stedet er valgt fordi man har ønsket å kostnadsberegne et prosjekt lagt i åpne skjæringer.

Den teoretiske bakgrunn for fokusering av bølger ved hjelp av linsesystemer er gitt av SI og tas ikke med her. (De forutsetninger SI har bygget på ved dimensjonering av linser og rennestørrelser er bølgestatistikk utarbeidet av Lars Eide på Meteorologisk Institutt). Det er imidlertid klart at linsene kan fokusere bølgene mer eller mindre presist avhengig av hvor avanserte de lages.

For å sikre at fokus opptrer innenfor et 200 m bredt belte ved kysten, trengs 2 sett med linser: Det ene ca. 10 km fra land, og innenfor en korreksjonslinse som foretar en nødvendig justering av fokuseringen. Uten denne indre linse vil fokal-området vandre noe innen et ca. 700 m bredt belte.

I denne rapport (Fugløy-alternativet) forutsettes linsen å være av den enkle typen uten korreksjonslinse. Rennesystemet blir således meget bredt, men de økte kostnader man således får på land vil neppe være større enn besparelsen man får ved å velge et enklere linsesystem. Med 5 trakter/renner som spenner over 750 m vil de fokuserte bølgene aldri treffe over hele bredden med samme intensitet. For dimensjonering er det regnet med at 3 vilkårlige av 5 trakter/renner tar hele belastningen.

## 4.3.3. OVERSIKT

Kortfattet beskrivelse av anlegget

Utenfor Fugløy er energien i havdønningene størst i vest-øst retning. Anlegget er derfor orientert i den samme retning.

De fokuserte bølgene kommer inn mot traktene som ligger omtrent i linsesystemets fokus og forstørres ytterligere på grunn av innsnevringen i traktene. Ved overgang trakt/kilerenne vil vannet renne over kilerennens overløpsvanger og inn i siderennene, som løper parallelt med kilerennene innover. Dette vil være situasjonen når verket går for full last. Når størrelsen på havdønningene er under et visst nivå, vil overrenningen starte lenger inn i kilerennene, og med mindre tilrenning til kraftstasjonen som resultat. Det oppstår en balanse mellom avrenning og tendens til økte bølgehøyder ved avtagende tverrsnitt i kilerennen innover denne.

Siderennene transporterer vannet til et inntaksbasseng ved kraftstasjonen. Herfra er alt som ved et konvensjonelt kraftverk. Verket får intet magasin slik at det må kjøres på den vannføring som til enhver tid renner over i siderennene.

I kraftstasjonen forutsettes installert 5 aggregater á 40 MW. Antallet turbiner sikrer at man kan kjøre kraftverket på god virkningsgrad i hele området fra 10 MW til 200 MW.

Hoveddata

Maksimal ytelse	200 MW
Antall aggregater	5
Maksimal ytelse pr. aggregat	40 MW
Overløpsvangens kotehøyde	12,5 m
Falltap i siderenner	0,5 m
Netto fallhøyde	12,0 m
Maksimal vannføring	2000 m <sup>3</sup> /s



Antall trakter/kilerenner	5
Traktåpning	150 m
Sum traktåpning	750 m
Bredde ved overgang trakt/kilerenne	15 m
Bredde innerst i kilerenne	3 - 5 m
Lengde av kilerenne	450 m
Kotehøyde bunn kilerenne	-20 m
Byggetid	6 år

#### 4.3.4 Beskrivelse av anleggets deler:

Anlegget er splittet opp og beskrives som følger:

- Sjøbunn utenfor trakter
- Trakter
- Kilerenner med overløpsvanger
- Siderenner
- Inntaksbasseng
- Kraftstasjon
- Diverse

##### Sjøbunn utenfor trakter. (Tegn. 101 og 102).

Foran traktene må alle masser som ligger over k -20,0 fjernes. Undervanns-skjæringene i innløpets sider må gjøres stabile.

##### Trakter. (Tegn. 102)

Funksjon: Traktene skal samle opp bølge-energien fra et relativt bredt område i fokus og avgi den samme energi til de innenforliggende kilerenner. Økningen i bølgehøyde innover i trakten medfører en høyere energitetthet pr. meter bredde, slik at energitetthet multiplisert med bredde hele tiden er konstant. (Bortsett fra små friksjonstap).

Utførelse: Traktveggene støpes i betong som utføring der fjellet er høyt nok, ellers som delvis frittstående vegger.

Innerst i traktene hvor bredden er 15 m forutsettes rennen å kunne avstenges for revisjon.

##### Kilerenner med overløpsvanger. (Tegn. 102).

Funksjon: Omforme den kinetiske energien i bølgene til potensiell energi i siderennene. Dette skjer ved en inn-snevring av tverrsnittet innover i rennen som medfører økende bølgehøyder som igjen gir kontinuerlig avrenning over overløpsvanger.

Utførelse: Kilerennene sprenges ut med jevne, tilnærmet vertikale vegger. På grunn av vannets store partikkelhastighet (opp til 7 m/s) i bølgene, må veggene utfores med betong.

Rennen bør gjøres så smal som mulig der den avsluttes innerst. På dette stadium av prosjektet er endeveggen tegnet vertikal.

Overløpsvangene støpes monolittisk med betongutføringene i kilerennene. I normal drift vil de bli utsatt for krefter i motsatte retninger: Kraft utover når en bølgetopp passerer, og innover når en bølgedal passerer. Konstruksjonen må derfor dimensjoneres med tanke på utmatning. Vangene er forutsatt både slakk- og spennarmert.

##### Siderenner. (Tegn. 102).

Funksjon: Transport av vannet fra der det renner over overløpsvangeren til inntaksbasseng.

Utførelse: Rennebunn faller jevnt fra k +5 ytterst mot traktene til k 0 innerst ved inntaksbasseng.

Rennens tverrsnitt øker også innover mot kraftstasjonen. Ved maksimal vannføring i systemet på 2000 m<sup>3</sup>/s og forutsatt at kun 3 kilerenner tar hele belastningen, blir vannhastigheten i siderennene ved de valgte tverrsnitt ca. 1,5 m/s. Falltapet i siderennene blir da. ca. 0,1 m.

Inntaksbasseng (Tegn. 103)

Funksjon: Samle vannet og fordele det på de inntakene som er i drift, og sikre gode hydrauliske forhold foran disse.

Utførelse: Basseng som smalner av til bredde = 125 m. Bunnen ligger på kote - 10,0. Vannhastigheten gjennom bassenget med fullt pådrag (2000 m<sup>3</sup>/s) blir ca. 0,7 m/s på det smaleste parti.

Kraftstasjonen. (Tegn. 103 og 104)

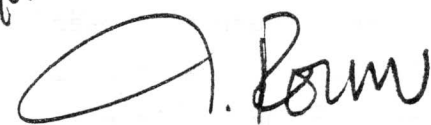
Kraftstasjonen er vist i konvensjonell utførelse med 5 vertikale kaplanaggregater. Arrangementet er vel kjent, og omkostningene kan beregnes med stor sikkerhet. Nytt i denne sammenheng er vurderingen av ekstrakostnadene man pådrar seg på grunn av de forholdsregler mot korrosjon man må ta i vannveiene på grunn av saltvannet.

Diverse.

Det blir anlagt permanent vei, molo og kai som vist på tegn 101.

Sandvika, 27. mai 1981  
INGENIØR A.B.BERDAL A/S

for H. Nakling



4.3.5. KOSTNADSOVERSLAG

(Prisnivå : Mai 1981)

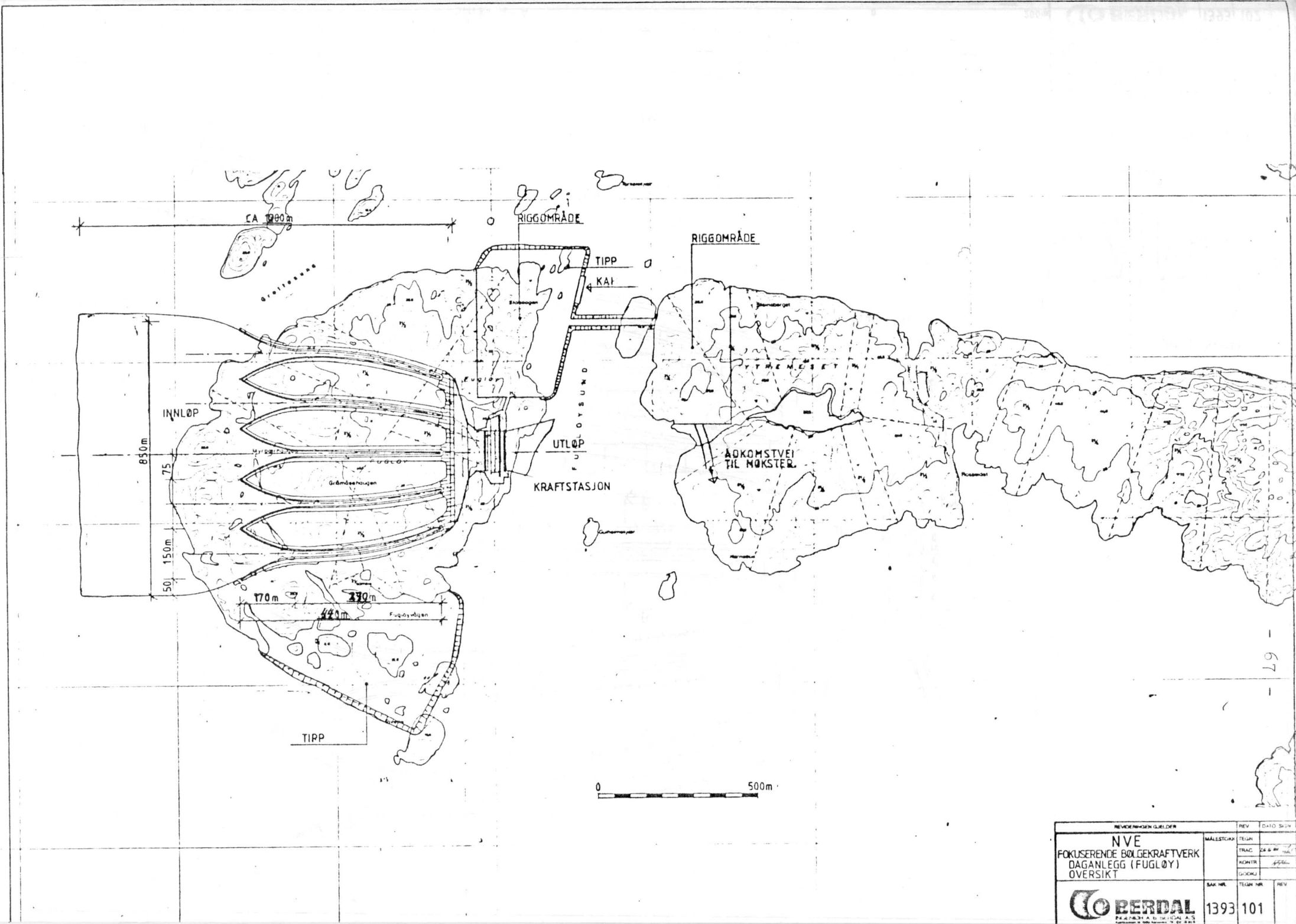
	Mill.kr.	Mill. kr.
Riggkostnader	235	
Sprengning, mudring i sjøen ved utløp og innløp	135	
Sprengning på land	445	
Sikringsarbeider	10	
Betongarbeider i rennesystem	455	
Betong- og innredningsarbeider i kraftstasjon	90	
Kai, veier, diverse arbeider	<u>120</u>	
Sum bygningsmessige arbeider		1490
Maskinteknisk utstyr	200	
Elektroteknisk utstyr	<u>165</u>	
Sum tekniske installasjoner		365
Diverse, uforutsett		<u>145</u>
Sum omkostninger		2000 =====

FOKUSERENDE BØLGEKRAFTVERK  
ANLEGG PÅ LAND - FUGLØY  
4.3.6 TIDSPLAN

INGENIØR A. B. BERDAL A/S

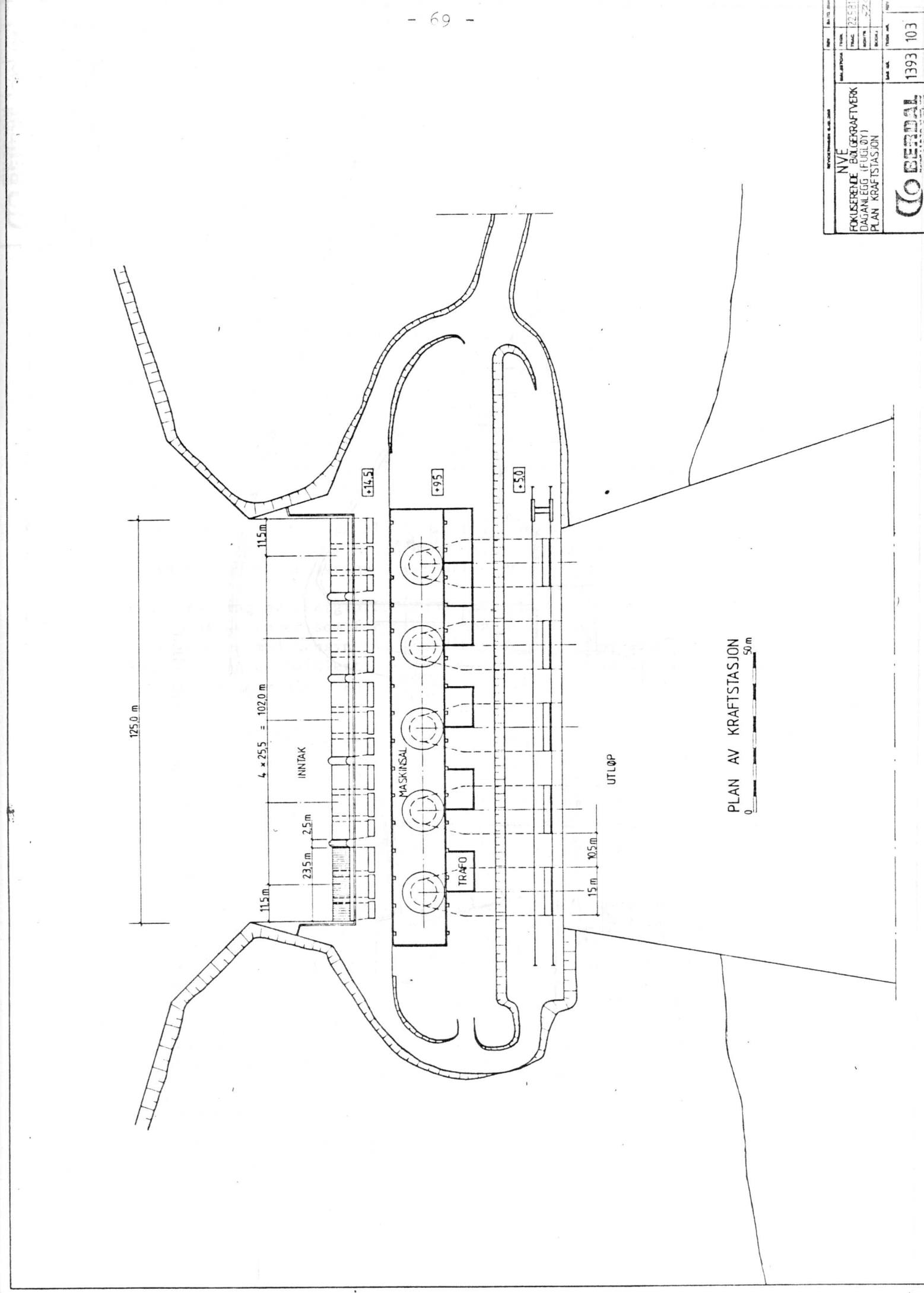
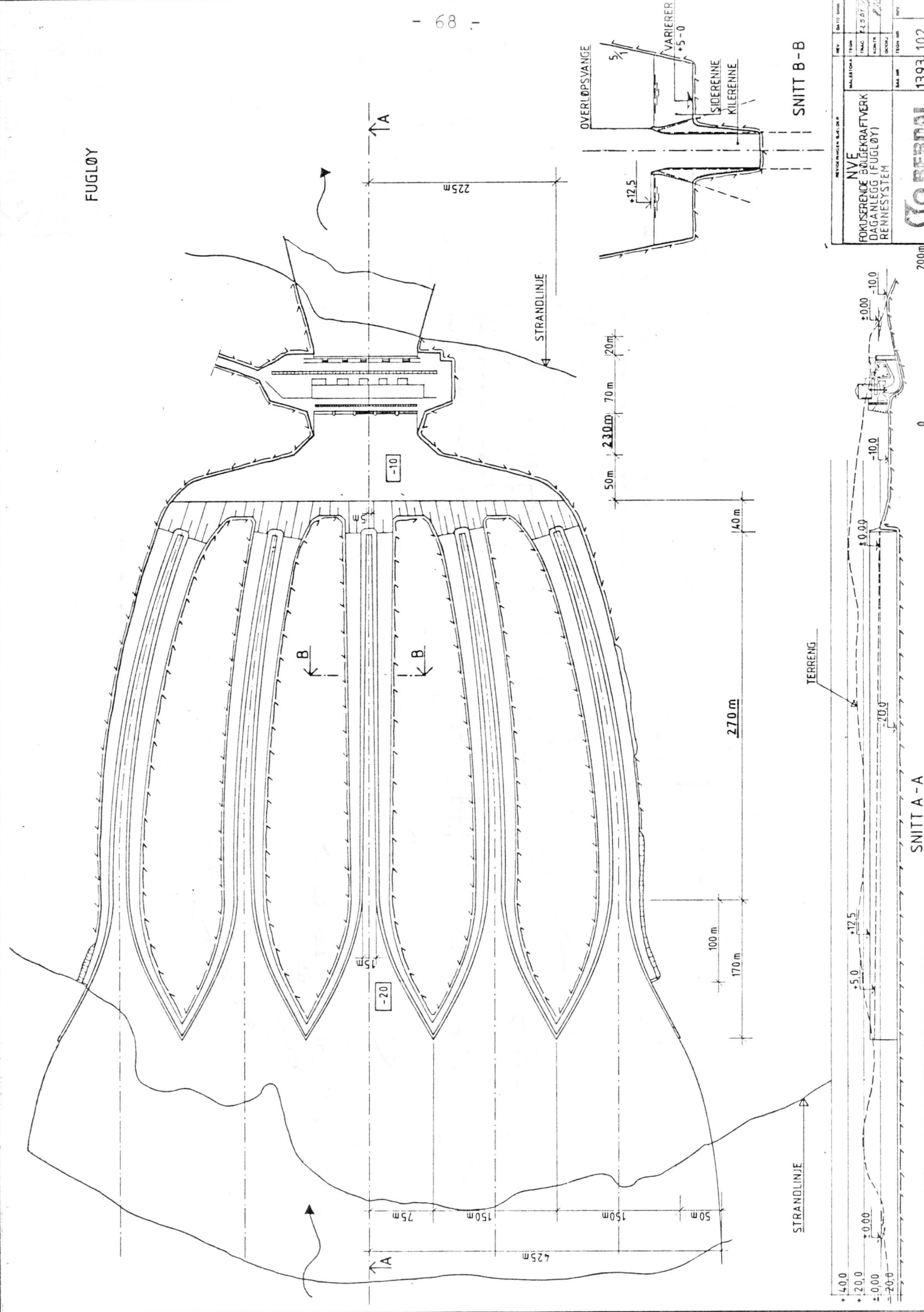
BESKRIVELSE	TID. ÅR	1. ÅR	2. ÅR	3. ÅR	4. ÅR	5. ÅR	6. ÅR	7. ÅR
TILRIGGING								
ADKOMSTVEI								
KAI								
GRUNNARBEIDER RENNE: I TØRR BYGGEGRUP UNDER VANN								
GRUNNARBEIDER KRAFTSTASJON: I TØRR BYGGEGRUP UNDER VANN								
BETONGARBEIDER: RENNE KRAFTSTASJON								
MONTASJER: MASKIN & ELEKTRO								
IGANGKJØRING								
NEDRIGGING								

- 66 -

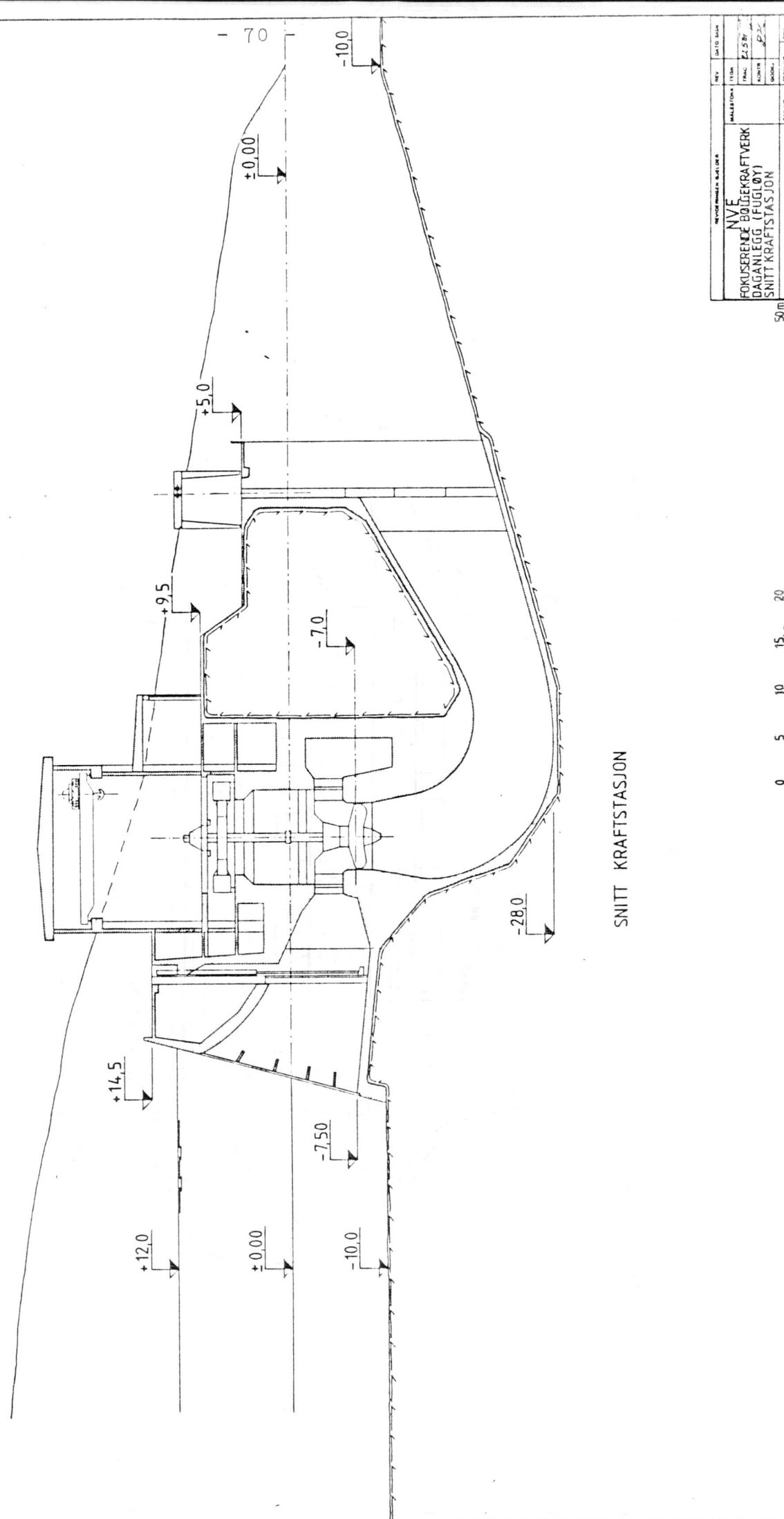


- 67 -





PLAN AV KRAFTSTASJON



## 5. BEREGNET ENERGIPRODUKSJON

### Hovedpunkter

Forventet energiproduksjon fra bølgekraftverk ved Bremanger er beregnet med delvis nye tall for tilgjengelig energi, energiopptak og virkningsgrad ved energiforming i kraftverkene.

De angitte tallene for energiopptak og virkningsgrader er basert på prosjektenes egne forsøk og beregninger. Usikkerheten er naturlig nok relativt stor. I tiltro til prosjektene vil vi anta at anslagene er realistiske. Det er innenfor rammen av evalueringsarbeidet ikke mulig å overprøve prosjektenes egne undersøkelser.

I vedlegg til denne rapporten er de ulike leddene i energiomformingen fra havbølge til elektrisk energi gjennomgått. I den grad det er knyttet spesielle forutsetninger til de produksjonstallene som presenteres er dette kommentert i vedlegget.

Evalueringsarbeidet vil bli brukt til å vurdere de ulike bølgekraftprosjektene innbyrdes, og til å sammenligne bølgekraft med konvensjonelle energikilder eller øvrige alternative energikilder.

Ved beregning av energiproduksjon er det i evalueringsarbeidet ikke lagt inn forutsetninger som forrykker rangeringen av de ulike kraftverkene. Usikkerheten med hensyn til energiopptak og virkningsgrader ved energikonvertering er imidlertid så stor at en vanskelig på grunnlag av produksjonskostnadene alene kan vurdere kraftverkene.

Ved beregning av tilgjengelig energi på byggestedet er en del usikre tapsledd neglisjert. Vi vil anta at under reelle driftsforhold vil energiproduksjonen i alle fall ikke bli høyere enn vist i tabell IIIC.

Her oppsummeres de viktigste endringene i forhold til del I i evalueringsrapporten.

- Hindcastmodellen kan gi opp til 20% for høye tall for bølgeenergiflukt. (kap. 2).
- Virkningen av ulike bunneffekter er vurdert nærmere, blant annet på bakgrunn av målinger på vestkysten av Skottland. Hovedkonklusjonen er at energitap på grunn av bunnfriksjon og bølgebrytning vil kunne være av betydning for bølger fra sørvest inn mot Bremanger. For bølger fra vest og nordvest er virkningen ubetydelig. Reduksjonen i energi er relativt størst for store bølger. Varighetskurven på byggestedet blir dermed gunstigere. De lave kostnadene for svenske bølgekraftprosjekt har delvis sin bakgrunn i en slik gunstig fordeling fordi maksimalbelastningene ikke blir så mye større enn middelpåkjenningene.

### Energi på byggested:

I beregningene er samme midlere energiflukt på byggestedet antatt som i del I. Dette innebærer at for den angitte lokaliseringen på Bremanger er anslaget for tilgjengelig energi trolig for høyt.

c) Brutto\_energiopptak:

Brutto energiopptak pr bølge i bølgekraftverket er økt ved overgang fra bølgetype M2 til N2. Dette skyldes dels overgang fra kjegleform til kuleform og økning i vannspeilareal og fortrenget væskevolum.

Senteravstanden mellom enhetene i Kværner Brugs kraftverk basert på svingende vannsøyle er økt fra 80 til 160 m. Andre parametre som bestemmer resonansfrekvensene i svingesystemet er også endret i forhold til 1. evalueringsrunde. Endringene gir bedre tilpasning til aktuelt bølgespekter og reduserer problemene med å oppnå optimal dempning. Retningsavhengigheten til kraftverket er fortsatt ikke undersøkt, og er her basert på en antagelse som gir 45% reduksjon i tilgjengelig energi i forhold til normalt innfall.

d) Virkningsgrad ved energikonvertering

Virkningsgraden for linsa i fokuserende bølgekraftverk avhenger av utformingen av linseelementene. Undersøkelsene hittil angis å vise at den enkleste utformingen med lavest virkningsgrad er økonomisk fordelaktig pga. lavere investeringskostnader.

Virkningsgraden for kilerenna er hevet noe i forhold til del I av evalueringa etter videre forsøk ved SI. Den angitte virkningsgrad forutsetter blant annet at fordelingen av energi på de ulike kilerennene ikke er for ujevn.

Tapene i fokalområdet er antatt små, dette forutsetter stor dybde inn mot åpningene til kilerennene.

- e) Beregninger for et fokuserende bølgekraftverk med landanlegg i dagen er tatt med.
- f) Energiproduksjonen for en type svingende vannsøyle utviklet av NEL i Skottland er beregnet. Beregningen er usikker blant annet fordi vi har for lite kunnskap om tap på grunn av bunnfriksjon og andre bunneffekter.
- g) Det er gjennomført en følsomhetsanalyse for produksjonskostnadene i et bølgekraftverk basert på fokuseringsprinsippet. Parametre som er variert er virkningsgrad i kraftverket, fordelingen av energi over året (varighetskurvens form), faste kostnader og kostnader som varierer med lengden på kraftverket.

For de øvrige kraftverkstypene er produksjonskostnadene mindre påvirket av usikkerheten i varighetskurvens form, fordi de opptar energi fra en større sektor enn det fokuserende kraftverket. Varighetskurven vil derfor ligge nærmere de kjente kurvene fra blant annet instrumentmålinger.

5.1 Energi på målested/beregningssted

Sammenligning av beregnet bølgeenergiflukt ved hjelp av hindcasting med målt energiflukt ved Utsira og Halten synes å vise at hindcastmodellen gir anslagsvis 20% for stor energiflukt. For Tromsøflaket gir hindcastmodellen for lite energi sammenlignet med målt. Avvikene er diskutert i kap. 2.

På grunn av usikkerheten i sammenligningen, blant annet ved at målested og beregningspunkt ikke faller sammen, har vi her valgt å benytte samme bølgeenergiflukt i utgangspunktet som i del I. Dette vil sammen med bruk av en varighetskurve basert på instrumentdata trolig gi et noe for gunstig bølgeklima.

5.2 Energi på prosjekteringssted

Vi beskriver hvor mye energi som er igjen etter å ha passert et ledd i energitransporten fra havbølge til elektrisk energi levert fra generatorene i kraftverket ved å innføre en reduksjonsfaktor for bølgeenergi. En reduksjonsfaktor på 0,9 betyr at 10% av opprinnelig energi går tapt i vedkommende ledd. Definisjonen av reduksjonsfaktor er analog med vanlig definisjon av virkningsgrad som i denne rapporten bare er brukt for å beskrive energikonverteringen i selve bølgekraftverket.

Hindcastmodellen gir total energi i et punkt 150 km fra land. Avskjerming fra landsida vil redusere tilgjengelig energi for kraftverkene som ligger i landskyggen, inntil 10 km fra kysten.

Målinger på vestkysten av Skottland har vist betydelig reduksjon i bølgeenergi mellom et målepunkt over 44 m dyp og et punkt over 18 m dyp, 7 km nærmere land /2/. Gjennomsnittlig reduksjonsfaktor for måleperioden var ca. 0,4 på energiinnholdet i bølgene. Reduksjonen antas å kunne skyldes blant annet refleksjon mot havbunnen, refraksjon, bunnfriksjon og tap ved bølgebrytning.

/2/ antyder at refraksjonsbidraget kan gi reduksjonsfaktor 0,67. Vår beregningsmodell for bunnfriksjon med stor ruhet gir en faktor 0,73 i tillegg for en typisk bølge, eller totalt en faktor 0,5 før en tar hensyn til bølgebrytning.

Vi vil her kommentere de ulike tapsbidragene og konsekvensene for vår energiberegning.



Bunneffekter kan neglisjeres for dybder større enn 50-100 m over de avstander som her er aktuelle. For mindre havdyp er bunntopografien avgjørende.

- Refleksjon mot havbunnen. Vi vil anta at reduksjonen i tilgjengelig energi på grunn av refleksjon er liten i forhold til andre reduksjonsfaktorer.
- Refraksjon omfordeler energien slik at lokale variasjoner kan bli betydelige. Området ved Bremanger er i så måte særlig "uryddig". Det er innenfor rammene av evalueringsarbeidet ikke mulig å gjennomføre en skikkelig refraksjonsanalyse for de utpekte prosjekteringsstedene. Vi vil anta at ved å velge riktig plassering av kraftverkene kan refraksjonseffektene utnyttes til å redusere kostnadene ved energi-produksjon.
- Bunnfriksjon. Ved Lista og i Lofoten stiger havbunnen fra 100 m dyp til 20 m over en strekning på 1-3 km. Tap på grunn av bunnfriksjon anslås grovt til mindre enn 5% og neglisjeres videre. I figur 5.1 er vist beregninger av reduksjon i bølgeenergiflukt over en strekning på 1 km for varierende vanndybde. Beregningene er utført for Nikuradse ruhetsparameter lik 0,15 m. Vanlig valg er i området 0,05 - 0,20 m. 0,15 m tilsvarer slik relativt grov bunn.

Ved Bremanger er bunntopografien mer uryddig. Her vil de grunne områdene sørvest av Bremangerlandet kunne gi relativt kraftig reduksjon av energien for bølger fra denne retningen.

For en typisk bølge med bølgehøyde 2,5 m og bølgeperiode 10 s, gir beregningene en reduksjonsfaktor for energiinnholdet på 0,75 - 0,9 over en strekning på ca. 20 km inntil 4 km fra land. For bølger med opprinnelig høyde 20 m og periode 14 s, blir reduksjonsfaktoren på grunn av bunnfriksjon 0,5 - 0,65. I tillegg vil en kunne ha tap på grunn av bølgebrytning.

En ser at energireduksjonen er størst for store bølger. Dette innebærer blant annet at dimensjonerende bølgelast reduseres mer enn energiopptaket, noe som kan gi en nettogevinst i energikostnad. Mot vest og nordvest er vanndybden større. Tilsvarende beregninger som foran gir reduksjonsfaktor på 0,98.

Beregningene som er foretatt gir et begrep om størrelsen av tapene på grunn av bunnfriksjon. Virkningene av en eventuell reduksjon i energiinnholdet i bølger fra sørvest kan delvis kompenseres ved å orientere kraftverkene mer mot vest.

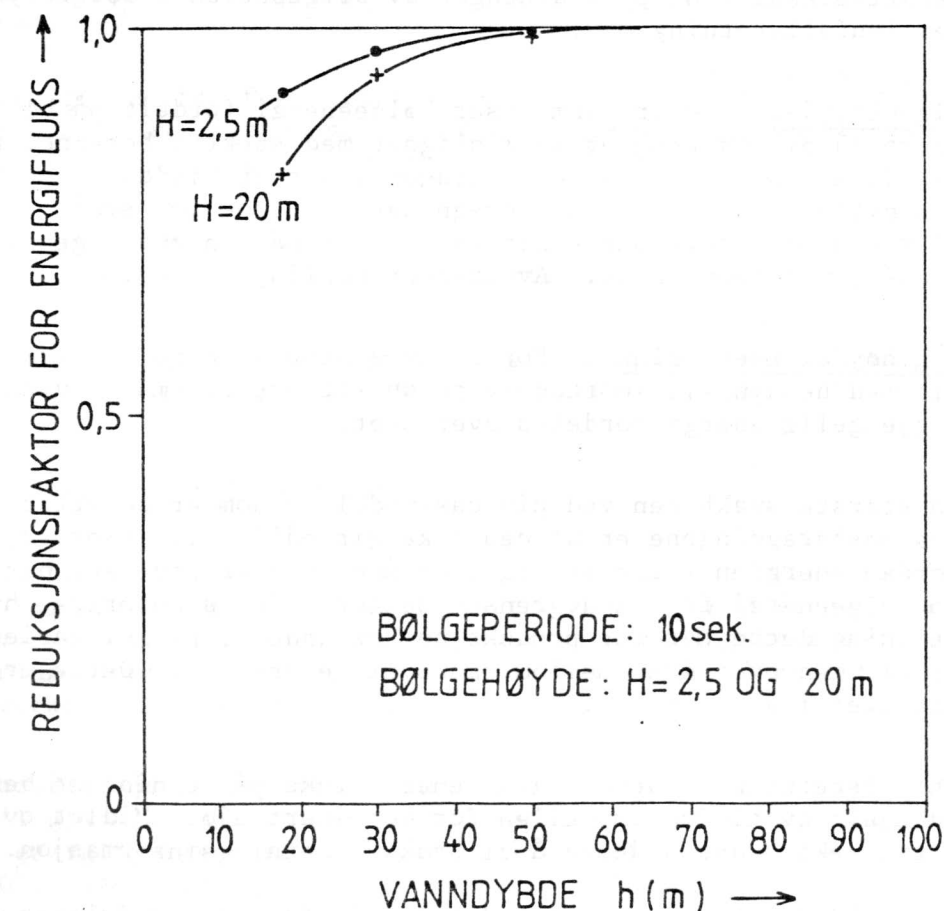
Tap på grunn av bunnfriksjon vil ha størst betydning for kraftverk som skal plasseres på relativt grunt vann. Her er det nettopp reduksjonen i tilgjengelig energi veid mot besparelsene i konstruksjonen som avgjør optimal plassering.

Vi må bare slå fast at vi kjenner for lite til reduksjonen i tilgjengelig energi på grunn av bunnfriksjon til å skille de ulike typene kraftverk som prosjekteres i forskjellig avstand fra land, på varierende dyp, osv.

Vi kan si at effekten vil være minst for bøyekraftverket som prosjekteres på en nominell dybde på 40 m. De to vannsøylene på 30 og 18 m vil få en noe større reduksjon, mens det fokuserende kraftverket vil være avhengig av at det er tilstrekkelig stor vanndybde inn mot fokuspunktet og innløpet til kilerennene. Tapene i de høye bølgene i fokalområdet vil ellers bli store, jfr. figur 5.1.

- Tap ved bølgebrytning. Vi antar som tidligere at bølgebrytning ikke reduserer tilgjengelig energi da effektopptaket i kraftverket likevel er begrenset. På grunt vann kan bølgebrytning begrense tilgjengelig effekt.

Konklusjonen på dette avsnittet må bli at tallene for energi på prosjekteringsstedet fra del I beholdes, men med tillegg av kommentarene foran. Eventuelle korreksjoner er mindre enn usikkerheten i utgangstallene. Delvis kan også reduksjonene i tilgjengelig energi kompenseres ved endret orientering, ny optimalisering, reduserte bølgebelastninger osv.



Figur 5.1. Virkning av bunnfriksjon. Reduksjonsfaktor for bølgeenergiflukt over en strekning på 1 km, ruhetsparameter 0,15 m.

Tilgjengelig energi på beregningssted og prosjekteringssted kan sammenfattes slik (jfr. del I):

Sted	Gitterpunkt i hindcastberegning	Midlere energifluks (kW/m)	
		Beregningssted	Prosjekteringssted
LISTA	(14,9)	38	24
BREMANGER	(14,12)	46	39
LOFOTEN	(17,18)	33	19

TABELL I. Tilgjengelig energi.

### 5.3 Brutto energiopptak

Med brutto energiopptak mener vi her hvor mye bølgeenergi som tas opp fra bølgene, før omformingen til nyttbar energi i kraftverket starter. Hvor stor del av tilgjengelig bølgeenergi på prosjekteringsstedet de ulike kraftverkene kan oppta avhenger av bølgeperiode, bølgehøyde, bølgenes innfallsretning osv.

- Bølgeperiode. Spektra som viser bølgeenergi fordelt på bølgeperiode basert på hindcasting er sammenlignet med spektra beregnet fra målte bølgedata (kap. 2). Sammenligningen viser at hindcast-spektret som er benyttet ved produksjonsberegningene er noe for smalt i forhold til målte spektra. Dette gir resultater på den gunstige siden i produksjonsberegningene. Avviket er neglisjert her.
- Bølgehøyde, energifluks. For å kunne dimensjonere kraftverket optimalt med hensyn til kostnad av produsert energi, må vi vite hvordan tilgjengelig energi fordeles over året.

Den største svakheten ved hindcastmodellen som er benyttet ved produksjonsberegningene er at den ikke gir pålitelig informasjon om hvordan energien fordeles seg over året når kraftverket bare kan ta opp bølgeenergi fra en avgrenset sektor. For å undersøke hvor stor betydning dette har for produksjonskostandene, har vi variert energifordelingen over året mellom sannsynlige grenser. Dette er nærmere behandlet i avsnitt 5.7.

- Innfallsretning. Fordeling av energifluks på retning er beregnet ved hjelp av hindcastmodellen for kombinert sjø. Midlet over en større sektor antas denne å gi brukbar retningsinformasjon.

I forhold til beregningene i del I, gir følgende endringer utslag i brutto energiopptak:

B - Svingende bøye: Overgang fra bøyetype M2 til N2 med tilhørende økning av optimal bøyeavstand i hver rad fra 100 til 120 m.

F - Fokuserende bølgekraftverk: Avrundede linseelementer gir økt brutto energiopptak.

S - Svingende vannsøyle: Optimalisering av parametre som bestemmer frekvenskurven for energiopptak. Økning av avstanden mellom naboenheter fra 80 til 160 m. Økning av installert effekt pr. enhet. Endringene medfører at retningsavhengigheten vil bli gunstigere enn tidligere antatt, hvor mye er fortsatt usikkert. Vi har her benyttet  $\cos\theta$  og  $\cos^2\theta$  som grenser der  $\theta$  er vinkelen mellom normalretningen på kraftverket og bølgenes innfallsretning.

Reduksjonsfaktorer for brutto energiopptak er gitt i tabell II.

### 5.4 Virkningsgrad

Ved omforming av brutto opptatt energi til nyttbar elektrisk energi levert fra generatorene i kraftverket oppgis for fokuserende bølgekraftverk en systemvirkningsgrad  $\eta = 0,5$ , /3/. Dette forutsetter avrundede linseelement, tilstrekkelig dybde i fokuseringsområdet og økt virkningsgrad i kilerenna i forhold til antatt i første evalueringsrunde. Med skarpkantede linseelement oppgir SI  $\eta = 0,42$  ( $\eta = 0,26$  når korreksjonslinse må benyttes) /7/.

Virkningsgraden for fokuseringsdelen, 0,8, inngår etter vår definisjon i bestemmelse av brutto energiopptak. Virkningsgraden ved energiomforming i kraftverket blir dermed 0,625.

For bøyekraftverket, type N2, oppgis virkningsgrad 0,6 for omdanning av brutto opptatt bølgeenergi til nyttbar energi /4/.

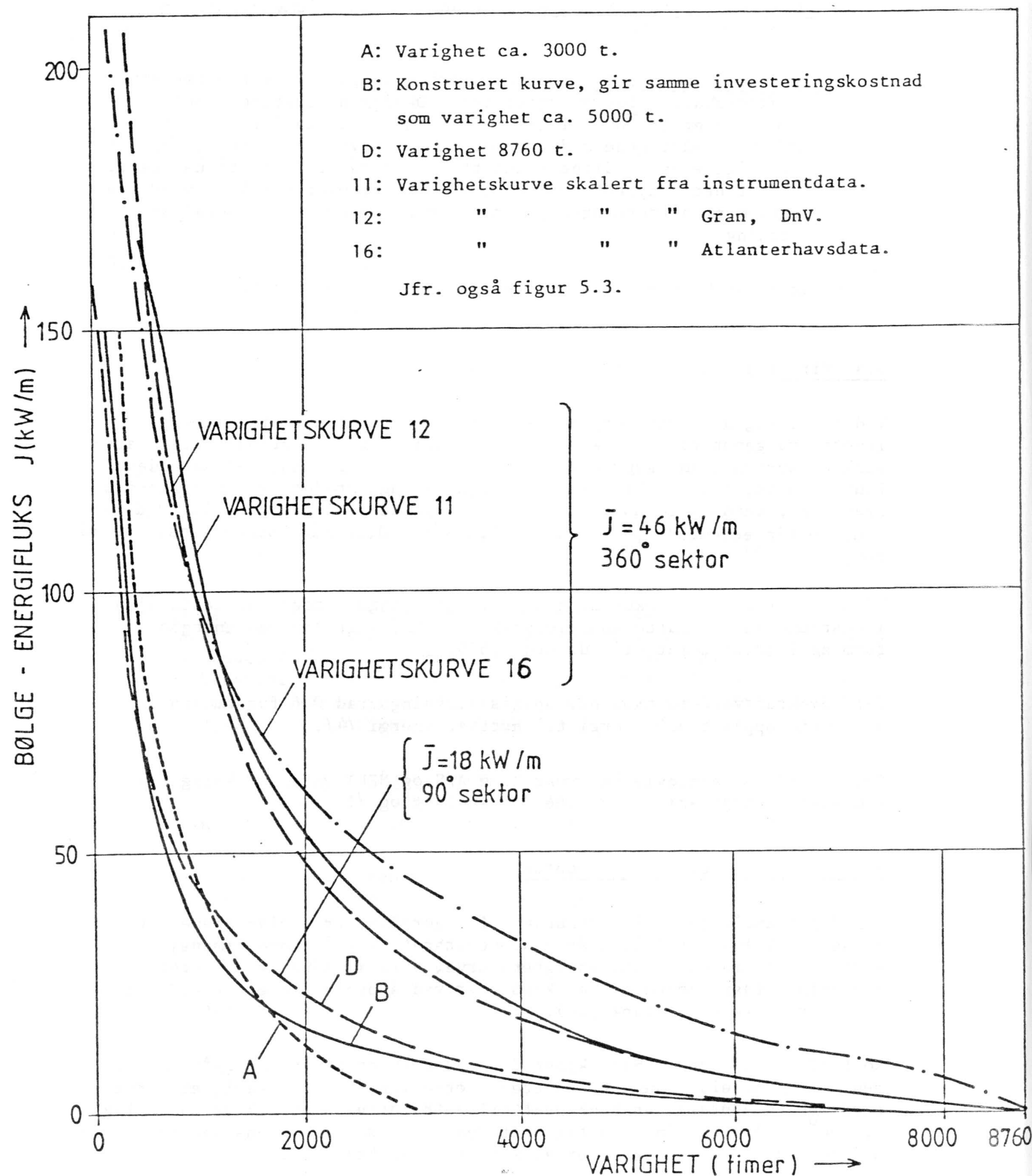
For svingende vannsøyle (Kværner Brug A/S og NEL) antas virkningsgrad ved energikonvertering lik 0,66 (se vedlegg og /1/).

### 5.5 Begrensninger i effektopptak

Som det framgår av varighetskurvene i figur 5.2, er variasjonene i tilgjengelig bølgeenergi over året svært store. For å kunne dimensjonere kraftverkene må en kjenne varighetskurve, virkningsgrad ved energikonvertering, faste kostnader og kostnader ved å oppnå økt effektuttak i kraftverket (kostnadsfunksjon).

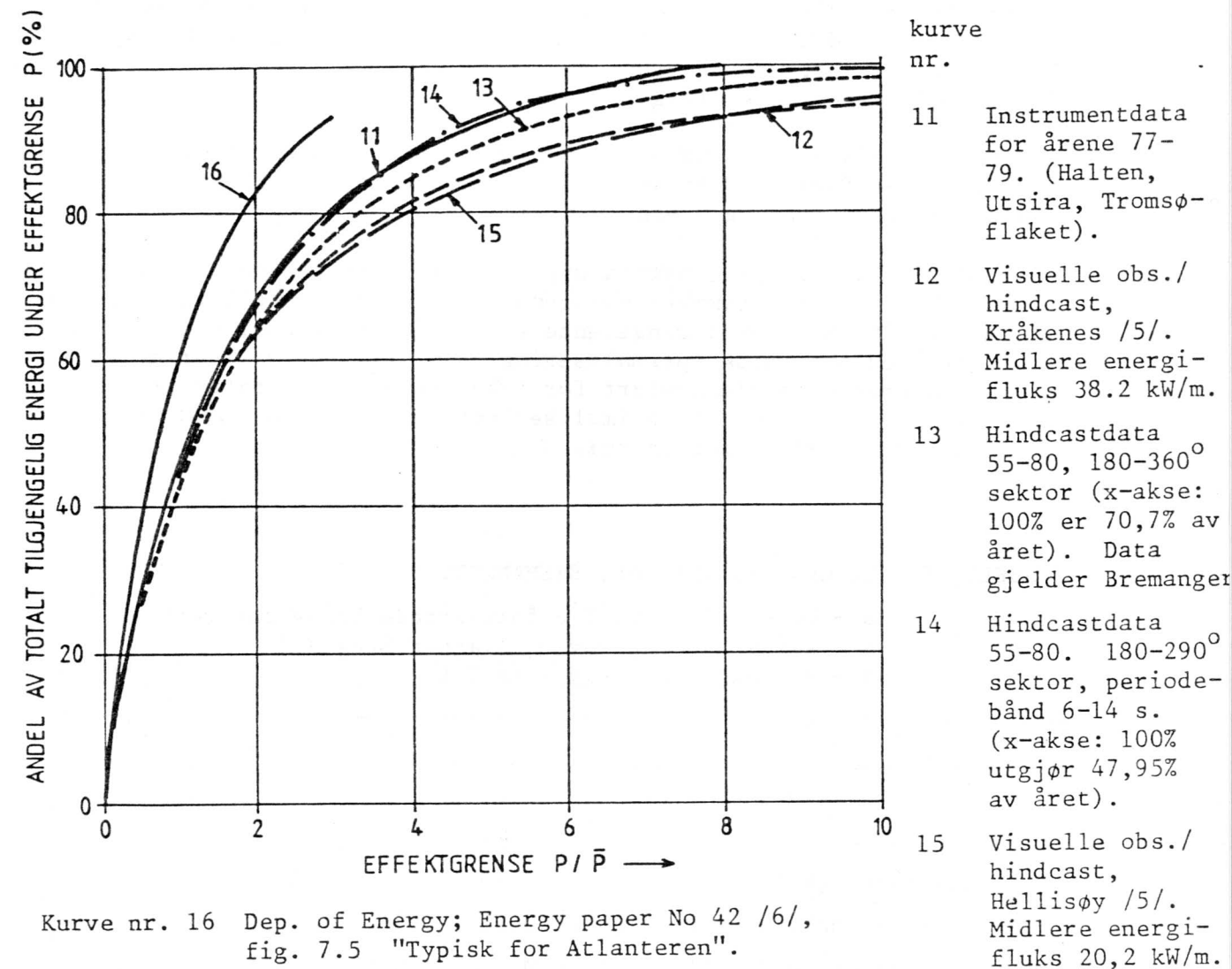
Kostnadsfunksjonen er bare kjent for det fokuserende bølgekraftverket, men til gjengjeld er det her knyttet stor usikkerhet til varighetskurven fordi energiopptaket er begrenset til en relativt smal sektor på anslagsvis  $90^\circ$ . (Åpningsvinkelen til sektoren vil også være gjenstand for optimalisering.) Usikkerheten er diskutert i kapittel 5.7.

For de øvrige kraftverkene er installert effekt ikke optimalisert. En generell erfaring er at installert effekt bør velges 2,5 til 3,5 ganger høyere enn midlere produsert effekt. Vi vil anta at for konstruksjoner med høye faste kostnader som ikke avhenger av effektopptaket, vil det optimale forholdstallet være enda høyere.



Figur 5.2 ULIKE VARIGHETSKURVER SKALERT ETTER MIDLERE ENERGIFLUKS VED BREMANGER.

Det optimale forholdstallet mellom installert effekt og midlere produsert effekt avhenger også av varighetskurvens form. Av figur 5.3 framgår at i Atlanteren vil det optimale forholdstallet være lavere enn ved norskekysten.



Kurve nr. 16 Dep. of Energy; Energy paper No 42 /6/, fig. 7.5 "Typisk for Atlanteren".

Figur 5.3. Andel av totalt tilgjengelig energi som kan utnytte i et kraftverk med installert effekt  $P$ .  $\bar{P}$  er midlere tilgjengelig effekt. Utnyttbar energi avhenger av varighetskurvens form.

#### 5.6 Reduksjonsfaktorer for produksjonsberegning

I første del av evalueringsarbeidet viste Bremanger seg å være det gunstigste lokaliseringalternativet av de utpekte prosjekteringsstedene. Dette skyldes spesielt to forhold:

- Tilgjengelig bølgeenergi er størst ved Bremanger. (Samme dimensjonerende bølgelast ble benyttet for alle prosjekteringsstedene.)
- Kraftverkene kan ved Bremanger orienteres mer mot bølgenes hovedinnfallsretning. Ved Lista og i Lofoten er dybdeforholdene slik at bøyekraftverket og svingende vannsøyle må legges i rekker parallelt med kysten. Dette slår ugustig ut i energiproduksjonen fordi en relativt stor del av bølgene kommer inn skrått.



I tillegg til de ovenfor nevnte prosjekteringsstedene, skal et fokuserende bølgekraftverk med landanlegg i dagen kostnadsevalueres. Dette er lokalisert på Fugløy.

For å få et mål på forbedringene som de ulike prosjektene har gjennomført siden første evalueringsrunde, er det her foretatt ny beregning av energiproduksjonen ved Bremanger. Det antas at bølgeklimate ved Fugløy og Bremanger er likt, men på grunn av lavere kostnader ved Fugløy vil optimal linselengde være forskjellig.

I tabell II gis et sammendrag av de reduksjonsfaktorer og virkningsgrader som er funnet foran. Hvordan tallene framkommer er forklart i del I av evalueringsrapporten og i egne vedlegg.

Hver av kraftverkstypene bygges opp av flere like enheter. Enhetene i kraftverket skal for sammenligningens skyld ha en installert effekt på til sammen 200 MW. Hvor mange enheter kraftverket skal bestå av, må bestemmes ved økonomisk optimalisering. En slik optimalisering er hittil i en viss grad bare gjennomført for fokuserende bølgekraftverk. For denne kraftverkstypen gir optimaliseringen trolig også størst utslag i produksjonskostnadene for energi.

TABELL II. Reduksjonsfaktorer, BREMANGER.

B - bøyekraftverk, F - fokuserende bølgekraftverk,  
S - svingende vannsøyle (Kværner Brug A/S),  
N - svingende vannsøyle (N E L)

	B	F	S	N
Energi på målested	1	1	1	1
Energi på byggested <sup>5</sup>	0.84	0.84	0.84	0.84
Retningsavhengighet	0.84	0.54	0.5-0.6	0.6
Frekvens- og amplitudeavhengighet	0.28 <sup>4</sup>	0.3-0.7 <sup>1</sup>	0.45 <sup>2</sup>	0.28 <sup>2,3</sup>
Energikonvertering	0.64	0.63	0.66	0.66
Begrenset effektopptak	0.94 <sup>4</sup>	0.73-0.76 <sup>5</sup>	0.84	0.73
Total reduksjonsfaktor	0.12	0.07-0.15	0.12	0.07

<sup>1</sup>) Laveste tall gjelder for skarpkantede linseelement

<sup>2</sup>) Tatt i forhold til energien som kommer inn mot hele kraftverkets lengde når midlere senteravstand mellom enhetene er 160 m.

<sup>3</sup>) Tatt i forhold til energien som faller direkte inn mot enhetene i kraftverket, blir reduksjonsfaktoren for NELs type 0,73.

<sup>4</sup>) Energiopptaket for bøyen er beregnet direkte fra hindcastdata.

<sup>5</sup>) Det er her ikke skilt mellom kraftverk på ulike dyp. Beregningene viser liten energireduksjon på grunn av bunnfriksjon. Det kan derfor blant annet være gunstig å trekke S inn på samme dyp som N og med det redusere kostnadene. Anslagene er basert på beregninger som må verifiseres i modellforsøk.

<sup>6</sup>) Fugløy: Begrenset effektopptak: 0,58 - 0,60.

Vi vil anta at NELs svingende vannsøyle vil komme bedre ut ved å øke installert effekt pr enhet noe. Med samme beregningsmåte som ovenfor, vil reduksjonsfaktoren på grunn av begrenset effektopptak kunne økes fra 0,73 til 0,84 ved å øke installert effekt fra 2,56 til 4 MW pr enhet bestående av 4 celler. Økningen forutsetter større oppsvingsamplitude i kammeret og større turbin- og generatorkapasitet pr enhet.

Tabell III gir hovedtall for dimensjoner og energiproduksjon for de ulike kraftverkene. Tallene for F gjelder for skarpkantede linseelementer, da dette etter de siste kostnadsoverslag gir lavest energikostnad.

TABELL III A Antall enheter i kraftverket

B - Antall bøyer, F - antall linseelement, S - antall vannsøylar, N - antall vannsøylar hver med 4 celler.

	BREMANGER	FUGLØY
B	410	-
F	61 - 93 <sup>1</sup>	44 - 84
S	25	-
N	78	-

<sup>1</sup>) Antall element i hovedlinse + korreksjonslinse.

TABELL III B Lengde av kraftverket (km)

	BREMANGER	FUGLØY
B	9,8	-
F	6,8 - 10,2	7,3 - 13,9
S	4,0	-
N	5,0 + (7,4) <sup>1</sup>	-

<sup>1</sup>) For sammenligning mellom S og N er senteravstanden mellom naboenheter for begge satt lik 160 m. Samlet avstand mellom enhetene, her satt lik 7,4 km, vil avhenge av lokale topografiske forhold.

TABELL III C Midlere energiproduksjon (GWh) pr. år fra et kraftverk med 200 MW installert effekt. Tallene i () angir produksjon pr. km kraftverkslengde. Nedre effektgrense for F: 0 MW.

	BREMANGER	FUGLØY
B	461 (47)	-
F	201 - 326	278 - 552
S	185 (46)	-
N	354 (29) <sup>1</sup>	-

F: Laveste tall gjelder varighetskurve A, høyeste varighetskurve B

<sup>1</sup>) Se kommentarer under tabell III B.

De endelige reduksjonsfaktorene som er benyttet i produksjonsberegningene framkommer som produkt av et stort antall komponentvirkningsgrader og reduksjonsfaktorer for bølgeenergiflukt.

Konsekvensen av gjennomført optimistiske, eventuelt pessimistiske anslag, kan best illustreres ved å anta en systematisk feil på 10% i hver faktor. Allerede med 8 faktorer multipliseres feilen opp til over 100%. Hvor mange faktorer som her inngår i beregningene framgår av vedleggene til kap. 5.

Forutsatt at de angitte virkningsgradene er de mest sannsynlige, vil imidlertid usikkerheten på hver faktor delvis kanselleres ved beregning av samlet usikkerhet.

Som nevnt innledningsvis, kan sammenligning av hindcastdata og instrumentdata tyde på at energiinnholdet i bølgene er noe overvurdert. En vesentlig effekt som vil virke motsatt er kostnadsgevinster ved å utnytte den naturlige topografien ved konstruksjon av kraftverkene. Dette kan være grunner som skjermer kraftverkene mot de største bølgene som er styrkemessig dimensjonerende, naturlige "fokalområder" for energi, osv.

### 5.7 Følsomhetsanalyser

Et hovedpunkt i diskusjonen av produksjonsberegningene i del I har vært usikkerheten med hensyn til hvordan bølgeenergien fordeles over året, spesielt når kraftverket bare kan ta opp energi fra en begrenset sektor.

Det er enighet om at hindcastmodellen ikke gir en korrekt varighetskurve for en avgrenset sektor, fordi all energiflukt til enhver tid tilskrives én retning, hovedretningen.

Instrumentelle data kan bare gi oss varighetskurver som er gyldige dersom kraftverket tar opp energi like godt fra alle retninger.

I fig. 5.3 er varighetskurver beregnet på ulikt grunnlag sammenlignet. Ved beregningene i del II har vi valgt å benytte kurve 11, basert på instrumentdata. En ser at denne kurven ligger 3-5% over kurven basert på hindcastdata for aktuelle valg av effektgrenser.

Det fokuserende kraftverket har også begrensninger i bølgeperiode. Bølger med periode under 6 og over 14 s utnyttes ikke i energiproduksjonen. Analyser av instrumentdata viser at langperiodet sjø opptrer i en svært liten del av året og gjør dermed varighetskurven "ugunstig", mens kortperiodet sjø (korte bølgelengder) opptrer stort sett hele året og påvirker varighetskurven i gunstig retning.

Kraftverkene er ved beregningene orientert mot framherskende bølgeretning. Dette innebærer blant annet ved Bremanger at bølgene i stormsituasjoner i hovedsak faller innenfor den avgrensede sektoren der kraftverket opptar energi, mens de retningene som ekskluderes gir bidrag i lavenergidelen av varighetskurven. Ved å dreie kraftverket kan en dermed oppnå en gunstigere varighetskurve, men dette vil gå på bekostning av tilgjengelig energi.

Det relativt stabile dønningsbidraget til varighetskurven kjenner vi ikke. Hindcastdata viser at hovedretningen for dønnings ved Bremanger er fra vest mens vindsjøbidraget er størst fra sør-sørvest. Det kan igjen synes som om varighetskurven kan forbedres på bekostning av tilgjengelig energi ved å dreie kraftverket mer mot vest.

Betraktningene foran er konkretisert ved å anta:

- at hindcastmodellen gir et korrekt uttrykk for hvor stor energiflukt som faller innenfor en avgrenset sektor.
- at hindcastmodellen gir den mest ugunstige fordelingen av energi over året vi kan tenke oss.
- at den mest gunstige fordelingen, om enn lite sannsynlig, er at energifluksen i en avgrenset sektor til enhver tid utgjør en brøkdel av total energiflukt gitt av forholdet mellom energien i avgrenset sektor og totalenergien. Dette ville blant annet være tilfelle dersom energifluksen var likt fordelt på retning, noe den ikke er ved Bremanger.

Vi vil derfor forsøke å avgrense usikkerheten noe mer ved å benytte betraktningene foran til å "konstruere" en "sannsynlig" varighetskurve på den "gunstige siden" (kurve B i figur 5.2).

- I høyenergidelen ligger varighetskurven for 90°-sektor og periodeintervall 6-14 s nær opptil kurven for 360°-sektor.
- I lavenergidelen er energifluksen redusert proporsjonalt med reduksjonen i tilgjengelig energi når sektoren avgrenses fra 360° til 90° og periodeintervallet reduseres. Særlig denne antagelsen er trolig på den gunstige siden.
- Betingelsene i endene på varighetskurven er så "sydd sammen" ved hjelp av betingelsene på tilgjengelig energi i avgrenset sektor og periodeintervall.

Innflytelsen på produksjonskostnadene ved variasjon av virkningsgrad i kraftverket (eller tilgjengelig energi), fordeling av energien over året (varighetskurve) og faste og variable kostnader i kraftverket er illustrert i figur 5.4 og 5.5. (Virkningsgrad  $\eta$  angir her hvor stor del av tilgjengelig energi i 90°-sektor som kan omdannes til nyttbar energi før en tar hensyn til at effektopptaket er begrenset.)

Med skarpkanta linselement, der systemvirkningsgraden i kraftverket etter 77 oppgis til 0,26 ved Bremanger (hovedlinse + korreksjonslinse) og 0,42 ved Fugløy (hovedlinse), blir investeringskostnadene henholdsvis 22,70 - 28,20 kr/kWh årsprod. og 13,60 - 18,60 kr/kWh årsprod. for Bremanger og Fugløy. Laveste tall gjelder for varighetskurve B og høyeste for varighetskurve A (jfr. fig. 5.2).

I figur 5.6. er vist investeringskostnadene for kraftverk ved Bremanger og Fugløy ved gitte kostnader for landanleggene - linsekostnadene er variert.

For de øvrige kraftverkstypene der optimalisering ikke er gjennomført pga. manglende kostnadsfunksjoner antas energiproduksjonen proporsjonal med tilgjengelig energi ved kraftverket og virkningsgrad ved energikonvertering, idet den delen av kostnadene som er uavhengig av effektinstallasjonen er relativt større enn for fokuserende bølgekraftverk (jfr. 5.5).

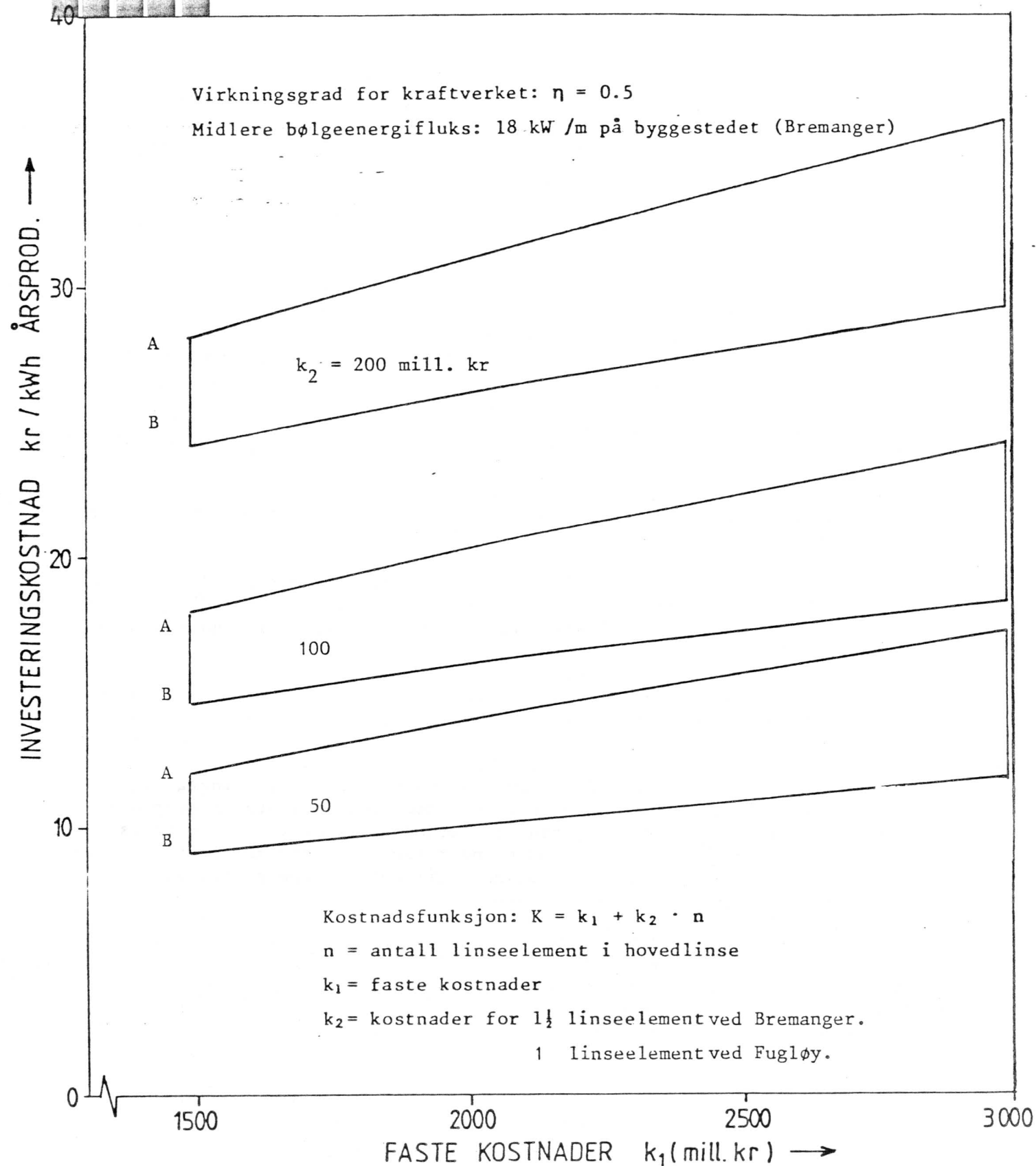


Fig. 5.4. INVESTERINGSKOSTNAD VED OPTIMAL DIMENSJONERING - FØLSOMHET VED ENDRING I KOSTNADSFUNKSJON/ENDRING AV VARIGHETSKURVE

- A Energien fordelt over 3000 t av året. (Varighet i  $90^\circ$  sektor gitt av hindcastmodellen.)  
 B Energien fordelt etter varighetskurve B i fig. 5.2.

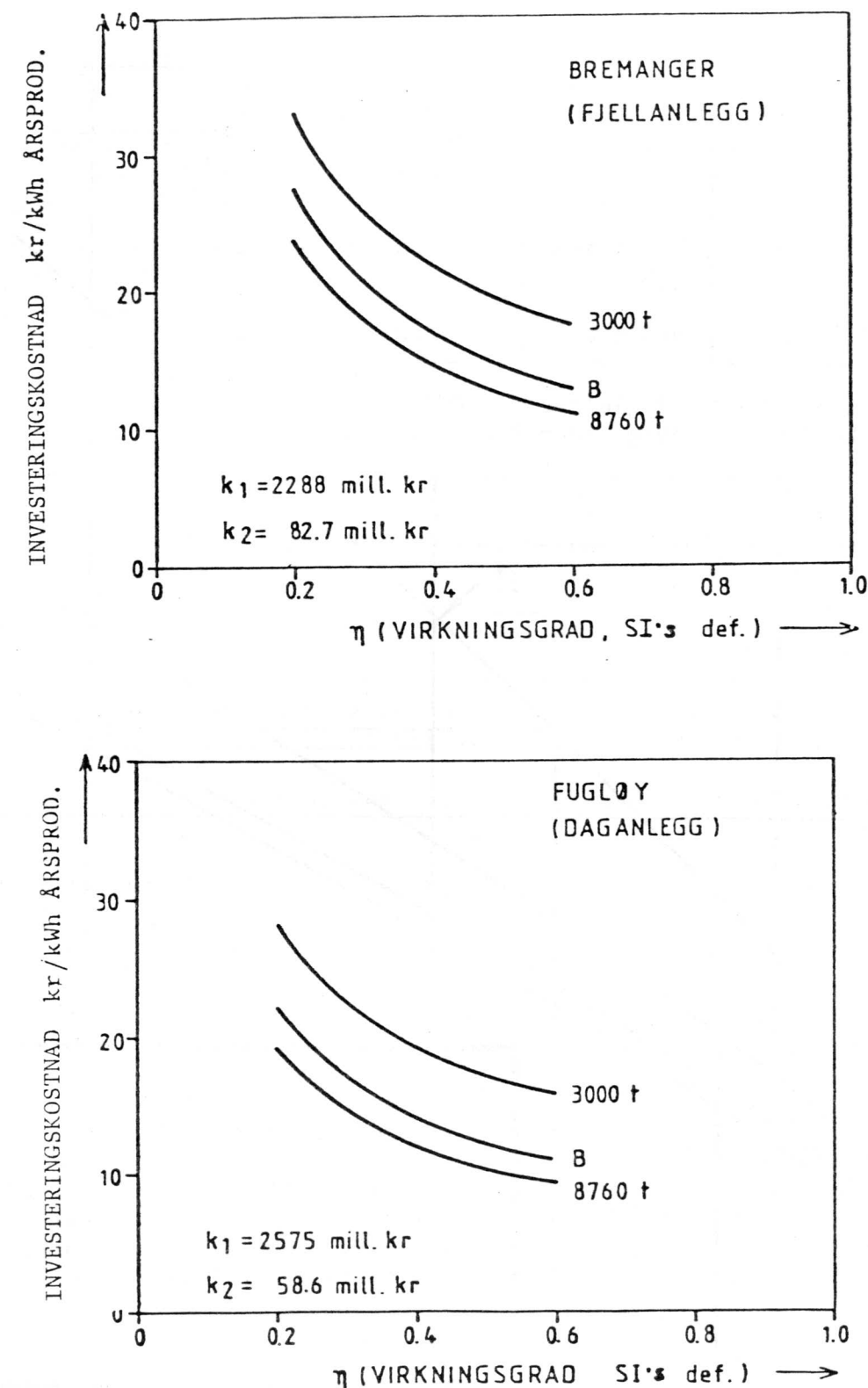
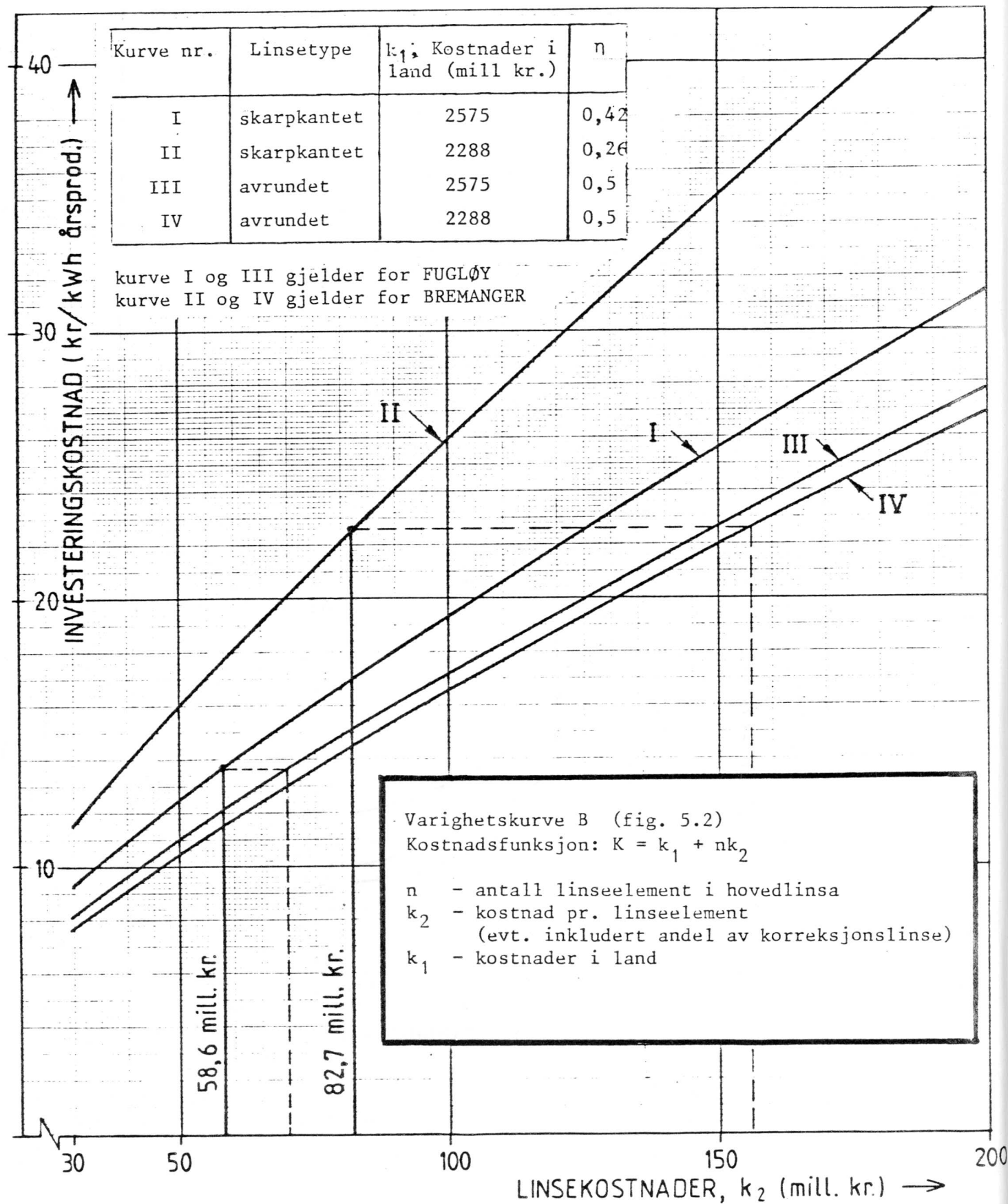


Fig. 5.5. Investeringsskostnad som funksjon av kraftverkets virkningsgrad. Tilgjengelig midlere effekt i  $90^\circ$  sektor og periodeintervall 6 - 14 s er 18 kW/m av en total midlere energifluks på 46 kW/m i følge hindcastmodellen.

Totalenergien er fordelt over hhv. 3000 t og 8760 t som forklart i teksten. Kostnader; som for skarpkantede linseelement:

Kostnadsfunksjon som i fig. 5.4.  
 Mest sannsynlig kostnad mellom kurve B og kurve for 3000 t, virkningsgrad  $\eta \sim 0.26$  for Bremanger og  $\eta \sim 0.42$  for Fugløy.





Figur 5.6. Investeringskostnad som funksjon av linsekostnad. Kostnadene for skarpkantede linseelement er inntegnet. (Vertikale linjer.)

# REFERANSER

- /1/ "The use of the Air Turbine as a power take off mechanism in Wave Energy Converters", H.W. Bishop and R.P. Harvey, paper no G3, pp 219-236, and  
"Wave Energy Studies at the UK National Engineering Laboratory", G. Elliot and G. Roxburgh, paper no I3, pp 269-281, 2nd International Symposium on Wave and Tidal Energy, Cambridge, England, September 23-25, 1981. Organized by BHRA Fluid Engineering, Cranfield, Bedford, England.
- /2/ "Models of Wave Energy Transformation near a Coast", A.H. Brampton and P.H. Bellamy, Paper No X2, pp 351-361, 2nd International Symposium on Wave and Tidal Energy, Cambridge, England.
- /3/ "Fokuserende bølgekraftverk, foreløpige produksjonstall for Lista, Bremanger og Unstad", SI-notat 810520, tillegg: kap. 1: "Prinsipper og virkemåte", SI-notat 810520.
- /4/ "Bøyekraftverk på norskekysten", K. Budal og J. Falnes, notat til NVE 810505.  
"Energiabsorpsjon for kraftbøyaner M2 og N2 på tre ulike stader på norskekysten", K. Budal, notat til NVE 810428, korrigert 810610.
- /5/ "Estimates of wave power at the coast of Norway", S. Gran, DnV-report no 77-570.
- /6/ Energy paper no 42. Dept. of Energy, UK.
- /7/ "Sammensatt holografisk linsesystem for vannbølger. Teori og målinger. Elnes, juli-august 1980. Endelig rapport.", Halvor Heier, SI-rapport 78 04 08-5 Oslo 810317. (mottatt 811105).



# KYSTDIREKTORATET

FYRAVDELINGEN

**NVE-S**

Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen,  
Postboks 5091 Maj  
Oslo 3

Journalisert 21. OKT 1981

Arkiv nr.

Postadresse: Postboks 8158,  
Dep. Oslo 1  
Kontoradresse: Dronningensgt. 6  
Telefon: (02) 11 40 90  
Telegramadr.: Kystdirektoratet, Oslo  
Teleks: 16690 kdir n

Skriv bare om en sak i ett brev.

Deres ref.

Vår ref. (bes oppgitt ved svar)

Dato

Utg./81 Løv/rl  
014

19.10.1981

6 MILJØ- OG SAMFUNNSMESSIGE FORHOLD

6.1 Konflikter med skipsfart

AD: BØLGEKRAFTVERK

Kystdirektoratet har mottatt kopi av Deres brev til  
Fiskeridirektoratet av 10/8-1981.

Innholdet av dette kan ikke sees å ha noen innvirkning  
på det standpunkt Kystdirektoratet har gitt uttrykk for  
i tidligere brev.

Etter fullmakt

*E. Sire*  
E. Sire

*Harald Løvheim*  
Harald Løvheim

# FISKERIDIREKTØREN

Møllendalsvegen 4 - Postboks 185  
Telefonsentral (05) 23 03 00

Telegramadresse: Fiskeridirektøren  
Bankgiro 0618.05.70189  
Postgiro 5 05 28 57  
Telex 42151

Norges Vassdrags- og  
elektrisitetssvesen  
Middeltunsgt. 29

**NVE-S**

Journalisert 30. OKT 1981

Arkiv nr.

OSLO 3

5001 BERGEN, 27.10.1981  
Jnr. Utg./81 BJ/BS

NVE-E

AKKIVERT	28.10.81
5340	
INNAKTERES	
04/81	
02/81	

## 6.2 Konflikter med fiske

Ny høringsrunde "Evalueringsbølgekraftverk".  
-----

Fiskeridirektøren har hatt rubr. sak ute til ny høring etter at dybden ble forandret til 40 m. for "duppen" og 30 m. for "svingende vannsøyle".

Av de svar som er innkommet viser det seg at det ikke har skjedd noe forandringer i synet på "Evalueringsbølgekraftverk" bortsett fra Finnmark hvor det har skjedd en del forandringer.


Fiskeridirektøren er fortsatt av den oppfatning at det for hvert enkelt prosjekt må foretas konsekvensanalyse, og legges fram konkrete planer.

Viggo Jan Olsen

fung.

Bjørn Johnsen  
Bjørn Johnsen



	DATO	6.3. KONFLIKTER MED MILJØ- OG SAMFUNNSMESSIGE FORHOLD	SIDE
	19.10.81		AV TOTALT
	NAVN		

#### Innledning.

Konsekvensene for miljø og samfunn er behandlet i rapportens Del I. Grunnlaget for behandlingen var status for de ulike konseptene pr. 01.04.81. Det har siden funnet sted betydelige endringer i konseptene og dette har fått konsekvenser for bl.a. lokalisering og utforming av anleggene.

Utgangspunktet for vurderingen nå er den vurdering som er gitt i rapportens første del. En vil derfor i det følgende konsentrere seg om virkninger for naturvern- og fritidsinteresser som representerer endringer i forhold til tidligere vurdering. Av samme årsak vil bare de forslag til lokalisering som var analysert tidligere bli vurdert på nytt. På denne måten regner en med å få til en oppdatering av behandlingen i rapportens første del.

Når det gjelder vurderingen av samfunnsmessige forhold og mulige konflikter med fornminner etc., henvises til rapportens første del.


Det må understrekes at grunnlaget for vurdering av konflikter med naturvern- og fritidsinteresser fortsatt er spinkelt.

#### 6.3.1. Konflikter med naturverninteresser.

Kravene til vanndybde er modifisert for bøyekraftverket. Tidligere tenkte en seg plassering på ca. 40-70 m dyp mens en nå ønsker plassering på 40 m dyp. For svingende vannsøyle er kravene til dybde uendret.

På grunn av bunntopografien vil de endrede dybdekrav føre til at installasjonene i en del tilfelle vil komme nærmere land. En vil dermed risikere at bølgeklima i strandsonen endres. Følgen av dette kan være at vegetasjonens sammensetning endres og videre at dette kan ha betydning for f.eks. fugleliv i området.

Eksempel på dette er forekomster av tang og tare i strandsonen og ved utenforliggende grunner og holmer. I situasjoner med høye bølger (ikke nødvendigvis bare det som er definert tidligere som stormsituasjoner), vil en ofte se at denne vegetasjonen rives løs fra ytre områder og

	DATO	6.3. KONFLIKTER MED MILJØ- OG SAMFUNNSMESSIGE FORHOLD	SIDE
	19.10.81		AV TOTALT
	NAVN		

transporteres med bølgene innover mot strandsonen. Det transporterte materiale utgjør viktige deler av eksistensgrunnlaget for bl.a. sjøfugl. Bølgekraftverk vil kunne påvirke dette mønsteret. Bøyekraftverk vil ved ekstreme bølger (ca. 2% av et middels år) være avstengt og derved i slike situasjoner bare i liten grad påvirke bølgeforplantningen. Imidlertid vil en ha en rekke situasjoner med "høy sjø" i løpet av et år der bøyekraftverket vil være i drift og redusere bølgehøyden. Reduksjonen er anslått til å være mindre enn 1 m for bøyekraftverket.


Når det gjelder energiopptak og forholdene mellom innkommende, reflektert og transmittert bølge for svingende vannsøyle, henvises til s. 155 i Del I. I noen tilfelle vil en se at bølgehøyden reduseres med 40-70% på lesiden av kraftverket. Under optimal drift transmitteres 10-45% av innkommet bølgeenergi.

Dette synes å vise at svingende vannsøyle kan forårsake endringer i strandsonens vegetasjon. Også svingende bøye vil kunne være årsak til slike endringer, men sannsynligvis i en vesentlig mindre utstrekning. Det er rimelig å anta at virkningene av de reduserte bølgehøyder i alminnelighet vil bli større jo nærmere land kraftverket plasseres. Der er imidlertid vanskelig å kvantifisere slike virkninger.

De endrede bølgeforhold i strandsonen vil også kunne føre til at erosjonsforholdene blir endret. Selv om bølgene blir dempet på lesiden av kraftverket, innebærer ikke dette at forholdene blir "bedre" sett fra et naturvern-synspunkt. Det er grunn til å anta at områder med løsmasse vil være særlig ømfintlig overfor endringer i bølgeklima.

Lokaliseringen nærmere land vil gjøre at påkjenningen på miljøet i strandsonen kan bli større i forbindelse med bygging og drift av anleggene.

Dybdekravet for svingende bøye innebærer at installasjonene blir mer krevende med hensyn til lokalisering. Dette er nødvendig for å holde kostnadene nede. En kan derfor tenke seg at konfliktene mellom bølgekraftverk av typen svingende bøye og naturverninteresser vil bli vanskeligere å unngå enn det en tidligere har antatt.

	DATO	6.3. KONFLIKTER MED MILJØ- OG SAMFUNNSMESSIGE FORHOLD	SIDE
	19.10.81		AV TOTALT
	NAVN		

Det foreligger et nytt alternativ for fokuseringskraftverket. Dette er det såkalte daganlegg der innløpet til kraftverket ligger i en åpen kanal. Siden anlegget kun benytter 1 linse, vil fokus vandre fram og tilbake avhengig av retningen på de innfallende bølgene. Innløpet til kraftverket må derfor gjøres bredt, ca. 750 m. Dette er den vesentlige forskjellen fra det tidligere fjellanlegg. Beslaget av arealer vil derfor være større og det vil også være større områder i strandsonen som vil bli utsatt for store bølgebevegelser.

6.3.2. Konflikter med fritidsinteresser.

Installasjonene vil muligens være noe mer iøyenfallende (svingende bøye) sett fra land enn ellers antatt. I praksis vil dette ikke ha noen særlig betydning for fritidsinteressene. Konfliktsituasjonen er neppe særlig endret i forhold til tidligere vurdering.

Sett under ett må en konkludere med at konflikten mellom naturvern - fritidsinteresser og bølgekraftverk synes mer alvorlige enn beskrevet i rapportens første del. Det er rimelig å anta at de nye kravene til lokalisering vil lede til større press på verneverdige områder. Dersom en er i stand til å unngå slike konflikter, vil de miljømessige konsekvenser sannsynligvis fortsatt kunne holdes innenfor akseptable rammer. For fritidsinteressene vil neppe de foreslåtte endringer få konsekvenser utover det som er angitt i rapportens 1. del.

## 7 LOKALISERING

### 7.1 Generelt

I løpet av evalueringsperioden har det kommet fram prinsipielle forandringer for svingende bøye- og fokuseringsprinsippet. N2-bøyen skal nå stå på ca. 40 m dyp mot tidligere ca. 80 m. Dette har medført at en rekke alternativer langs kysten - spesielt Vestlandet - har måttet falle ut grunnet ujevne bunnforhold. Fokuseringsprinsippet har fått varianten daganlegg i tillegg til fjellanlegg.

Etter gjennomgåelse av kartmateriale kombinert med stedlige befaringer har en funnet teknisk mulige lokaliseringsalternativer for daganlegg på følgende steder:

Utsira i Rogaland samt Goddeneset, Fugløy, Algrøy og Herdlevær i Hordaland. Fjellanleggene som fortsatt er aktuelle er Egersundområdet i Rogaland, Bremanger i Sogn og Fjordane, Fuglehuk og Unstad i Lofoten samt Langøy (ved Sunnan) og Skogsøy i Vesterålen.

I rapporten "Evalueringsbølgekraft - del I" hadde en valgt ut 3 lokaliseringseksempler, nemlig Lista/Egersundområdet, Bremanger og Lofoten. Alternativet Bremanger, der energien i bølgene er størst, kom kostnadmessig best ut. Denne rapporten tar utgangspunkt i Bremanger som lokaliseringseksempel for svingende bøye, fokuseringskraftverk som fjellanlegg og svingende vannsøyle. I tillegg har en valgt ut Fugløy som lokaliseringseksempel for et fokuseringskraftverk som daganlegg.

### 7.2 Bremangerområdet

#### 7.2.1 Svingende bøye.

Et kraftverk med en totalinstallasjon på 200 MW får en utstrekning på 9,8 km.

I forhold til evalueringens del I er kraftverket trukket nærmere land. Det er lokalisert til 40 m - koten med nordlig avgrensning ved Økseneset lykt og sørlig avgrensning ca. 5 km vest av Nesje lykt på Frøya. Kabelilandføringen er tenkt lagt til Grotle.

#### 7.2.2 Svingende vannsøylar - KB og NEL.

Plasseringen av kraftverk etter svingende vannsøyle - KB er den samme som tidligere. Svingende vannsøyle - NEL skal etter forutsetningene plasseres på 18 m dyp, og dette dyp finner en litt nærmere land enn KB's svingende vannsøyle.



Plasseringen av fokuseringsanlegget ved Bremanger har ikke forandret seg i forhold til tidligere.

### 7.3 Fugløy - området.

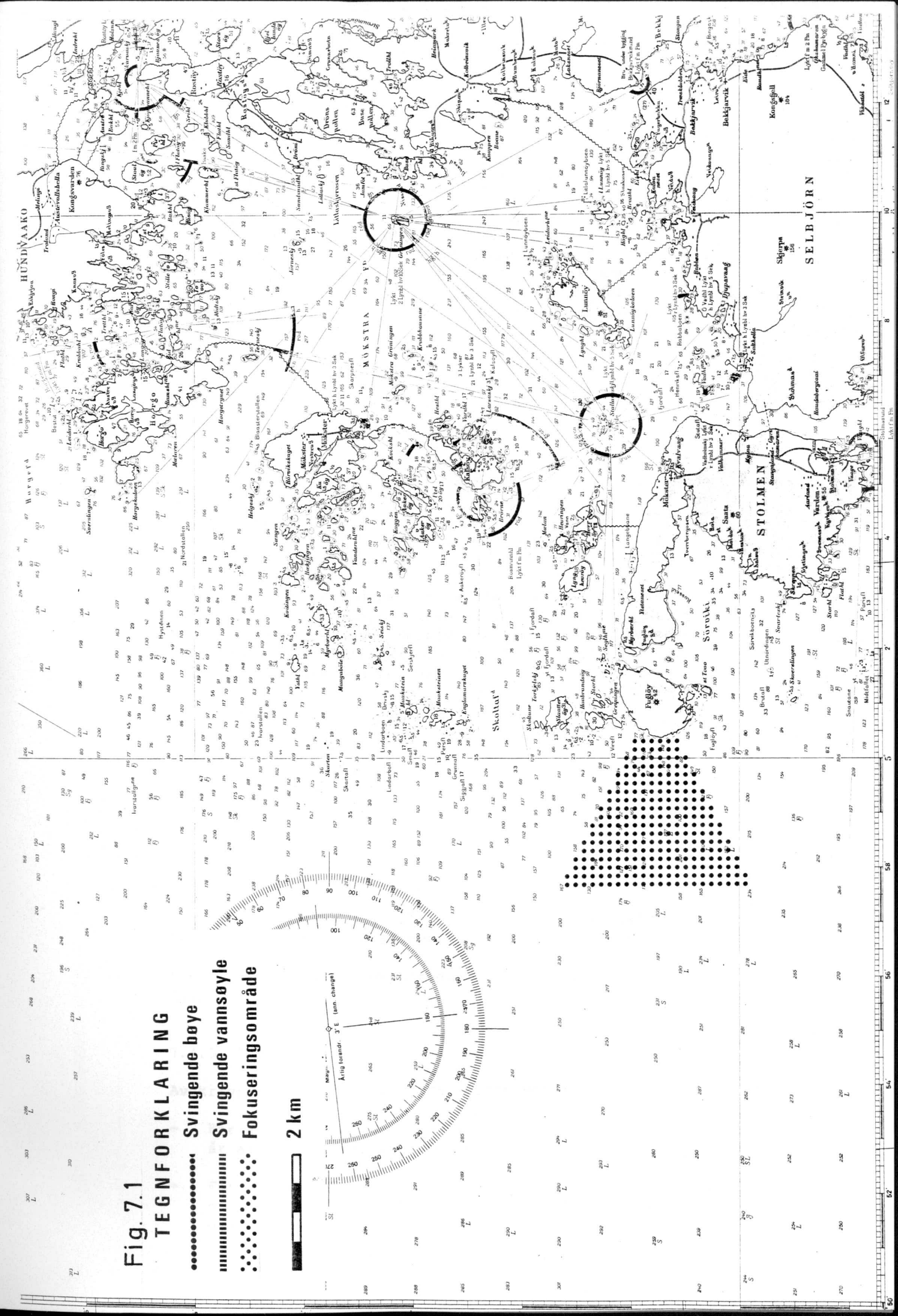
### 7.3.1 Fokuseringskraftverk - daganlegg.

På Fugløy vest av Stolmen har en funnet et mulig lokaliseringssted for et kraftverk etter forkuseringsprinsippet som daganlegg. En nærmere beskrivelse av området og anlegget er gjort under kap. 4.3.

Kraftverkets beliggenhet er vist på fig. 7.1 og Berdal-tegning nr. 1393/101 under kap. 4.3.

Kilerenner og tilløp med kraftstasjon på lesiden tenkes lagt i dagen. Fram til kraftverket må det bygges vei fra Kvalvåg på Stolmen som ligger ca. 3 km lenger øst. Arealer til bruk under anleggsdriften finner en på vestspissen av Stolmen samt at en bruker sprengmasser til å utvide arealet på Fugløy. Kai tenkes bygget i forbindelse med utfyllingen.

I en avstand av ca. 10 km fra land plasseres havbølgelinsen. Dypet i dette området ligger på ca. 250 m. Før den endelige plassering kan foretas er det nødvendig å foreta detalj-undersøkelser av sjøbunnen. Kraften føres i luftstreck over Stolmen og Selbjørn, i kabel over Selbjørnsfjorden og videre over Stord til koblingsstasjonen ved Leirvik. På begge sider av Selbjørnsfjorden vil det være behov for muffeanlegg.



#### 7.4 Økonomisk totalvurdering.

##### 7.4.1 Investeringer.

Byggekostnadene for de forskjellige konseptene er oppført under kapittel 4 i rapportene fra Kvaerner Engineering A.S og Ingeniør A.B. Berdal A/S. Kostnadene for den landbaserte delen av et fokuseringskraftverk som fjellanlegg er presentert i evalueringens 1. del. SI's forskningsarbeide i løpet av sommeren indikerer en reduksjon av rennelengden på 40%. En har foretatt bygningsmessige kostnadsjusteringer både for fjell- og daganlegg.

##### 7.4.2 Elektrotekniske kostnader.

For lokaliseringalternativet Bremanger har en foretatt justeringer av kostnadene for svingende bøye og svingende vannsøyle - KB i forhold til de tekniske forandringer som er foretatt. Kostnadene for fokuseringsprinsippet forblir uforandret, mens de for svingende vannsøyle - NEL er beregnet som nytt alternativ.

I tilknytningskostnadene for et fokuseringskraftverk på Fugløy har en inkludert følgende: Luftstrekke over Stolmen og Selbjørn, kabel over Selbjørnsfjorden med tilhørende muffeanlegg og luftstrekke over Stord fram til koblingsstasjonen ved Leirvik.

##### 7.4.3. Drifts- og vedlikeholdskostnader.

På samme måte som evalueringens 1. del er kostnadene for drift og vedlikehold vurdert av Terotech A/S etter oppdrag fra KE. Kostnadstallene er oppført under kapittel 4.2.

##### 7.4.4 Renter og avgifter.

Kostnadene referer seg til 1981. Rentefoten er satt til 7% p.a. og rentene er regnet fram til idriftsettelse.

Investeringsavgiften er beregnet til 10% av investeringene.

##### 7.4.5 Avskrivning.

Avskrivningen er foretatt iht. OED's notat av 17.02.81:

- For anlegg eller deler av anlegg med levetid over 25 år er 25 år benyttet som avskrivningstid.
- For anlegg eller deler av anlegg med kortere levetid, er levetiden avrundet nedover til nærmeste tall delelig med 5.

### 7.4.6 Kostnadssammenstilling.

I den påfølgende tabell 7.4 har en foretatt en sammenstilling av kostnadene for konseptene på de utvalgte stedene Bremanger og Fugløy.

Tallene for energiproduksjonen er tatt fra kapittel 5. Disse har en redusert med tap pga. planlagt driftsstans for vedlikehold samt overføringstap. Uforutsette produksjonstap, f.eks. som følge av oppståtte feil, har en utelatt da underlagstmateriale for dette mangler.

I tabellen er fellesanlegg som anlegg for bygging av bøyeanker, dokk og kaianlegg for svingende vannsøyler og dokk for havbølginser avskrevet på 1 x 200 MW.

Antar en at fellesanleggene har en økonomisk levetid på 25 år, kan de utnyttes for utbygging av en kraftverkstørrelse på 5 x 200 MW (produksjonstiden for et kraftverk på 200 MW er 5 år).


Fordeler en felleskostnadene på denne kraftverksstørrelse, får en følgende reduksjoner i midlere kostnader pr. kWh:

Svingende bøye	4 øre/kWh
Fokuseringsprinsippet	
- Bremanger	14 "
- Fugløy	11 "
Svingende vannsøyle - KB	15 "
Svingende vannsøyle - NEL	14 "

Tab. 7.4 KOSTNADSSAMMENSTILLING

		BREMANGER				Fjellanlegg		Daganlegg	
		N2-bøyen	Sv.v.-KB	Sv.v.-NEL	Fokusering	Fokusering	FUGLØY	Fokusering	
Investeringer iflg. KE+Berdal	mill.kr	2 719	1 741	6 760	4888-6292	4447-6306			
" " NVE	"	310	145	220	75- 75	100- 100			
Investeringsavgift	"	303	189	698	496- 637	455- 641			
Rentekostnader	"	383	220	682	958-1184	937-1236			
Sum investeringer	"	3 715	2 295	8 360	6417-8188	5939-8283			
Årlige kostnader, 7% i 25 år (N2:20år)	mill.kr	350,7	196,9	717,4	550,6-702,6	509,6-710,8			
Årlige driftskostnader iflg. KE	"	225,5	24,1	53	5,1- 7,7	3,7- 7,0			
Årlige driftskostnader iflg. NVE	"	0,8	0,3	0,6	10,0- 10,0	10,0- 10,0			
Sum årlige kostnader	"	577	221,3	771	565,7-720,3	523,3-727,8			
Brutto energiprod. iflg. NHL	Gwh	461	185	354	201-326	278-552			
- Tap pga. driftsstans	"	38	11,1	21,2	- -	- -			
- Overføringstap	"	11,5	3,7	7,1	6- 9,8	8,3-16,6			
Netto energiproduksjon	"	411,5	170,2	325,7	195-316,2	269,7-535,4			
Midl. kostnad pr. kWh	kr.	1,40	1,30	2,37	2,90-2,28	1,94-1,36			
Midl.kostnad pr. kWh, avrundet	kr.	1,40	1,30	2,40	2,60	1,70			



	DATO	7.5 MILJØ- OG SAMFUNNSMESSIG VURDERING.	SIDE
	19.10.81		AV TOTALT
	NAVN		

Grunnlaget for vurderingen av forslagene til lokalisering er supplerende uttalelser fra naturvernkonsulentene i de 4 besvarte fylker, se vedlegg til rapportens første del. I løpet av tiden som er gått siden første del var ferdig, har en valgt å bare arbeide videre med Bremanger-alternativet. Årsakene til dette er først og fremst teknisk/økonomiske. Når en likevel tar med uttalelsene fra de andre alternativene, er det for å belyse konsekvensene av endringene i konseptene.

#### 7.5. 1 Lokaliseringsalternativ LISTA


Kraftverkene vil i dette området komme vesentlig nærmere land. Minsteavstanden til land vil være ca. 1 km. Beslaget av grunne områder vil bli større og dette kan ha konsekvenser for produksjonen i områdene. Det vises også til faren for redusert transport av tang og tare fra ytre områder.

Strendene i området vil være særlig utsatt for endringer i bølgeklima. Redusert sandtransport vil være ødeleggende for f.eks. marehalm. Marehalmen har en viktig funksjon som "bindemiddel" for sanden slik at det vil være fare for sandflukt og økt erosjon i området.

På grunn av fare for groing etc. vil det være nødvendig å benytte kjemikalier for å hindre dette. Stoffet må fornyes med jevne mellomrom og kan være et betydelig forurensningsproblem.

Bygging av bølgekraftverk vil føre til alvorlige konflikter med verneinteressene både når det gjelder anlegg på land og i sjøen. Det anbefales derfor at en finner fram til andre steder for slike kraftverk enn utenfor noen av de mest verneverdige sandstrekningene i landet.

Når det gjelder forslagene til lokalisering i Rogaland fylke synes det ikke å foreligge grunnlag for endrede vurderinger i forhold til tidligere.

	DATO 19.10.81	7.5 MILJØ - OG SAMFUNNSMESSIG VURDERING.	SIDE
	NAVN		AV TOTALT

### 7.5. 2 Lokaliseringsalternativ - BREMANGERLANDET

Det nye er at installasjonene er flyttet nærmere land (svingende bøye og svingende vannsøyle).

Siden Bremangerlandet er praktisk talt fri for tekniske inngrep, vil det være uheldig med lokalisering av bølgekraftverk til dette området. En bør derfor unngå lokalisering vest av Bremanger. De tidligere forslag til lokalisering vest av Vågsøy og vest av Frøya i Bremanger ansees som mer fordelaktige.

Dersom en holder fast ved lokaliseringen vest av Bremangerlandet, må ilandføring av kabler m.v. skje ved Grotle. Ilandføring ved Vedvika med videreføring av linjene over fjellet er fortsatt meget uheldig.

### 7.5. 3 Lokaliseringsalternativ VESTVAGØY

På grunn av manglende oversikt over spesielle naturverdier i området finner en det vanskelig å uttale seg konkret om forslaget til lokalisering.

## VEDLEGG TIL RAPPORT "EVALUERING BØLGEKRAFT" - DEL II

Vedlegg 1: Til kap. 4.1. - 4.2:

Vedlegg til rapport nr. 0906 - 1420-008.  
Kvaerner Engineering A/S.

Vedlegg 2: 1. Vurdering av produksjonskostnader for 1000 linselementer, Shipping Research Services.  
2. Havbølgelinse av is, Eystein Huseby A/S.

Vedlegg 3: Kommentarer fra NTH, SI, KB og KE.

Vedlegg 4: Til kap. 3.4 og 4.1 - 4.2:

Wave Energy Studies at the UK National Engineering Laboratory.  
Kommentarer fra ETSU og NEL, UK

Vedlegg 5: Til kap. 6.2:

Uttalelser fra fiskerihold  
(Fiskernemder og fiskerisjefer).

Vedlegg 6: Til kap. 6.3:

Uttalelser fra friluft- og naturvernkonsulenter i Vest-Agder, Rogaland, Sogn og Fjordane og Nordland.

Vedlegg 7: Nedfotograferte sjøkart med inntegning av teknisk mulige plasseringer av bølgekraftverk langs norskekysten.

Ajour august 1981.